

## 明 細 書

## 波形信号の特徴点計測方法および装置

## 技術分野

- 本発明は、波形上の特徴点の値または特徴点間距離が不規則な波形信号の
- 5 特徴点を精度良く検出する方法および装置に関し、更に詳しくは、例えば木材年輪数、年輪幅等の計測に好適に用いることができる波形信号の特徴点計測方法および装置に関する。

## 背景技術

- 年輪年代学では、年代確定の基準となる標準的な年輪幅変動のデータベースと照合することにより、各年輪層が何年に形成されたものかを一年単位で
- 10 確定することができる。このデータベースは、奈良文化財研究所による精力的な調査研究によって、現在のところ日本では檜材で紀元前912年、杉材で紀元前1313年まで遡ることができる。ちなみに、年輪年代学の先進地域であるドイツでは、約一万年にわたる標準データベースが作成されている。年輪
- 15 年代学では、主に以下のような事例が取り扱われている。

(a) 木材の伐採年の推定

(b) 木造文化財（建築物、仏像、美術工芸品等）の制作年代や修理経緯の推定、真贋鑑定等

(c) 過去の長期にわたる気候変動の研究、地球環境温暖化の研究等

- 20 年輪年代学に使用される各年輪幅の時系列データは、誤検出（年輪以外のものを年輪として認識する誤り）も、非検出（年輪を認識しない誤り）も共に可能な限りゼロという究極の検出性能が必要とされる。

- このため、年輪幅の計測は、計測顕微鏡を用いた専用システムによって目視で行われており、その作業には熟練した技術と膨大な時間（300層クラス
- 25 の試料で約1時間）を要していた。また、システム構成が大掛かりなものになるという問題もかかえていた。

計測作業を自動化するためには、デジタルカメラやスキャナ等の画像取得装置を用いて取得した年輪画像から、パーソナルコンピュータを用いて各年

輪幅の計測を行う方法が考えられており、これまでもいくつかの試みがなされているが、前述の検出性能やシステム規模、価格などの点で問題があり、研究手段として一般的に広く用いられるには至っていないのが現状である。

- とりわけ檜材については、文化財等に広く利用されていて年輪年代学上重要な樹種であるにもかかわらず、年輪幅が狭小であること、杉材に比べて年輪が不明瞭なことなどの条件から、自動計測の実用化が極めて困難であった。本特許案件に類似した公知の技術の主要なもの以下に示す。

(1) 「Win DENDRO」 カナダ Regent Instruments社 1988年

(<http://www.regent.qc.ca/products/dendro/DENDRO.html>参照)

- 10 ケベック大学のDr. Rejean Gagnon と Dr. Hubert Morin が設計し、Regent Instruments社が商品化した年輪年代学用ソフトウェアである。このソフトウェアは、年輪画像の輝度変化情報をもとに、年輪計測や木材組織の解析を行うことができる。このソフトウェアのアルゴリズムの詳細は不明であるが、カタログ文面から察するところ、ウェーブレット処理および複数
- 15 計測線情報の統合技術は用いていないと思われる。

(2) 「画像処理システムを用いた年輪幅計測」 野田真人 1990年 樹木年輪研究会にて発表

- この発表では、杉年輪の計測は可能であったが、檜年輪は計測不可能と結論づけている。この発表に係る計測方法においては、ウェーブレット処理と
- 20 複数計測線情報の統合技術は用いられていない。

(3) 日本国特開平11-232427号公報

年輪数測定のために画像輝度情報を用いる点が記載されているが、同技術は上記(2)によりすでに公知である。この公報記載の公知技術においても、ウェーブレット処理と複数計測線情報の統合技術は何ら用いられていない。

- 25 年輪画像から画像上の計測線に沿って画素情報を取得することにより、輝度変化情報の波形信号または濃度変化情報の波形信号を得ることができる。濃度波形の極大箇所(輝度波形の場合は極小箇所)は各年輪層の各年輪層のうちの最も濃い部分(晩材最高濃度部)に対応する。したがって、濃度信号

波形の極大箇所または輝度信号波形の極小箇所を認識していくことにより、各年輪層を識別することができる。

- 一方、濃度波形信号をさらに微分処理すると、暗部から明部へと移行する点（微分波形の極小箇所）が各年輪層の終端点（晩材終端）に対応すること  
5 なる。したがって、計測線上でこの微分波形信号の極小箇所間距離を計測することにより、年輪幅をより正確に計測することができる。

年輪画像から画像上の計測線に沿って画素情報を取得することにより、輝度変化情報の波形信号または濃度変化情報の波形信号等を得ることは、上記した公知文献等により公知である。

- 10 しかしながら、木材の年輪幅は一般に不規則であり、最大年輪幅が最小年輪幅の数倍から約100倍程度まで異なることも少なくない、したがって、年輪画像から得た波形信号に対する特徴点（極大箇所であるピーク点または極小箇所であるトラフ点）の検出精度を小さい特徴点間距離のレベルに合わせると、特徴点間距離の大きい領域では年輪に無関係なノイズを拾いやすくなる。  
15 一方、波形信号に対する特徴点（ピーク点またはトラフ点）の検出精度を大きい特徴点間距離のレベルに合わせると、特徴点間距離の小さい領域では特徴点の検出漏れが生じやすくなる。したがって、最小年輪幅と最大年輪幅との差が大きい計測対象物に対し年輪数や年輪幅を正確に計測することが困難となっている。

- 20 さらに、年輪画像においては、濃度のレベルが一定ではないため、年輪画像から得られる上記輝度波形信号、濃度波形信号、微分波形信号等はいずれも計測区間全体にわたりうねったような変化特性を有する場合が多い。このため、一定の閾値を用いて波形信号における特徴点（極大箇所であるピーク点または極小箇所であるトラフ点）を検出しようとする、検出漏れが生じ  
25 る原因となり、年輪数や年輪幅を正確に計測できない原因となる。

したがって、年輪年代学にとって最も基礎的なデータとなる各年輪幅の時系列データを迅速かつ高精度に得ることができる計測方法および装置が要望されている。

## 発明の開示

本発明は、上記の要望に応え得る波形信号の特徴点計測方法および装置を提供することを目的とするものであり、波形の特徴点の値または特徴点間距離が不規則な波形信号であっても、波形の特徴点を迅速かつ高精度に検出することができる計測方法および装置を提供しようとするものである。

上記課題を解決するために、本発明は、第1発明として、波形上の特徴点の値または特徴点間距離が不規則な波形信号の特徴点を検出する方法であって、所定のマザーウェーブレットと複数段階のスケールレベルを用いて所定区間内の波形信号をウェーブレット変換し、このウェーブレット変換により生成された各スケールレベル毎のウェーブレット変換信号に対し、該スケールレベルに応じた区間幅毎に区間二乗平均を算出し、前記所定区間内の任意の点において前記区間二乗平均の算出値が最大となるウェーブレット変換信号のスケールレベルをその点における支配レベルとし、この支配レベルに応じた区間幅毎に前記波形信号が最大値または最小値となる点を波形信号の特徴点として検出することを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第2発明として、上記第1発明の構成を有する計測方法において、前記ウェーブレット変換に次式(6)、すなわち、

$$d_j(x) = b^j \int_{-\infty}^{\infty} \psi(b^j(x-k)) f(x) dx \quad \dots(6)$$

ここで、 $f(x)$ は波形信号、 $\psi(x)$ はマザーウェーブレット、 $b^j$ はスケールパラメータであり、 $b$ は定数(ただし、 $b > 1$ )、 $j$ は0または負の整数からなるスケールレベル、 $k$ はトランスレートパラメータであるを用いた波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第3発明として、上記第2発明の構成を有する計測方法において、前記マザーウェーブレットが次式(7)、すなわち、

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & -1 \leq x \leq 1 \\ -0.5 & -3 \leq x < -1, \text{または } 1 < x \leq 3 \\ 0 & x < -3, \text{または } 3 < x \end{cases} \quad \dots(7)$$

で定義されるフレンチハット型の関数を用いることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第4発明として、上記第2発明の構成を有する計測方法において、前記マザーウェーブレットが次式(8)、すなわち、

$$\phi(x) = -\frac{1}{2} \frac{d^2}{dx^2} e^{-x^2} = (1 - 2x^2) e^{-x^2} \quad \dots(8)$$

で定義されるメキシカンハット型の関数であることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第5発明として、上記第2発明の構成を有する計測方法において、前記区間二乗平均の演算に、次式(9)、すなわち、

$$g_j(x) = 2^{-1} p_j^{-1} \int_{x-p_j}^{x+p_j} |d_j(k)|^2 dk \quad \dots(9)$$

ここで、jは式(6)で用いたスケールレベル、kはトランスレートパラメータ、 $p_j$ はスケールレベルjが低レベルになるほど大きくなるようにスケールレベルjに応じて設定される定数である

を用いることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第6発明として、上記第5発明の構成を有する計測方法において、前記区間二乗平均の演算式(9)における $p_j$ が次式(10)、すなわち、

$$p_j = b^{-j} a \quad \dots(10)$$

ここで、aは式(6)で用いたマザーウェーブレット $\psi(x)$ のサポートによって決定される定数、bは式(6)で用いた定数、jは式(6)で用いたスケールレベルである

で定義されるものであることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第7発明として、上記第2発明または第5発明の構成を有する計

測方法において、前記式(6)における $b$ の値を2とすることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第8発明として、上記第1発明の構成を有する計測方法において、前記波形信号は、木材年輪画像等の対象画像から該画像上に設定した計測線  
5 に沿って取得した画素上の輝度または濃度情報信号であることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第9発明として、上記第1発明の構成を有する計測方法において、前記波形信号は、木材年輪画像等の対象画像から該画像上に設定した計測線  
10 に沿って取得した画素上の輝度または濃度情報信号をさらに微分処理したものであることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第10発明として、上記第9発明の構成を有する計測方法において、前記微分処理は複数画素分の間隔を隔てた複数の画素同士の差分演算処理であることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第11発明として、上記第8発明の構成を有する計測方法において、前記波形信号が濃度情報信号であるとき、該濃度情報信号を $f(x)$ とし、  
15 前記支配レベルを $j_d$ とし、該支配レベルに応じた定数を $q_{jd}$ とし、前記計測線上の任意の点を $x$ としたとき、 $f(x)$ の値が区間 $[x - q_{jd}, x + q_{jd}]$ における $f(x)$ の最大値 $f_{\max}(x)$ と等しければ、その点 $x$ を、年輪層内の最大濃度箇所を示す特徴点と決定することを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。  
20

さらに、第12発明として、上記第9発明の構成を有する計測方法において、前記波形信号が濃度情報信号を微分した微分信号であるとき、該微分信号を $f(x)$ とし、前記支配レベルを $j_d$ とし、該支配レベルに応じた定数を $q_{jd}$ とし、前記計測線上の任意の点を $x$ としたとき、 $f(x)$ の値が区間 $[x - q_{jd}, x + q_{jd}]$ における $f(x)$ の最小値 $f_{\min}(x)$ と等しければ、その点 $x$ を、年輪層内の晩材終端を示す特徴点と決定することを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。  
25

さらに、第13発明として、上記第8発明または第9発明の構成を有する

計測方法において、前記計測線が主計測線と、該主計測線の両側に各々等間隔を隔てて並列に設定される複数の副計測線とからなり、該主計測線および副計測線の始端から各々同一距離の点において波形信号の特徴点が検出されたとき、少なくとも該特徴点の数が主計測線および副計測線の本数に対し過半数であることを条件の1つとして、その特徴点を主計測線上の特徴点として決定することを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第14発明として、上記第13発明の構成を有する計測方法において、前記主計測線の両側に各々2本の副計測線を設定し、該主計測線および副計測線の始端から各々略同一距離の点において波形信号の特徴点が検出されたとき、少なくとも主計測線上と該主計測線に近い位置にある2本の副計測線のうちのいずれか一方上に特徴点があり且つ他のいずれかの副計測線上に特徴点がある場合、または、主計測線に近い位置にある2本の副計測線上と他のいずれかの副計測線上に特徴点がある場合に、その特徴点を主計測線上の特徴点として決定することを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第15発明として、上記第8発明または第9発明の構成を有する計測方法において、対象画像から該画像上に設定した計測線に沿って取得した画素上の輝度または濃度情報に対し周辺画素の情報を用いて平滑化することを特徴とする波形信号の特徴点計測方法を提供する。

さらに、第16発明として、波形上の特徴点の値または特徴点間距離が不規則な波形信号の特徴点を検出する装置であって、所定のマザーウェーブレットと複数段階のスケールレベルを用いて所定区間内の波形信号をウェーブレット変換するウェーブレット変換手段と、このウェーブレット変換手段により生成された各スケールレベル毎のウェーブレット変換信号に対し、該スケールレベルに応じた区間幅毎に区間二乗平均を算出する区間二乗平均演算手段と、前記所定区間内の任意の点において前記区間二乗平均の算出値が最大となるウェーブレット変換信号のスケールレベルをその点における支配レベルとして決定する支配レベル決定演算手段と、この支配レベルに応じた区

間幅毎に前記波形信号が最大値または最小値となる点を波形信号の特徴点として検出する特徴点検索手段と、を有することを特徴とする波形信号の特徴点計測装置を提供する。

- 5 さらに、第 1 7 発明として、上記第 1 5 発明の構成を有する計測装置において、検出された波形信号の特徴点に基づき特徴点間距離を算出する特徴点間距離手段をさらに有することを特徴とする波形信号の特徴点計測装置を提供する。

#### 図面の簡単な説明

- 10 図 1 は本発明を年輪計測に適用した場合の一実施形態に係る波形信号の特徴点計測方法のプロセス前半部分を示すフローチャートである。

図 2 は図 1 のフローチャートに続くプロセス後半部分を示すフローチャートである。

図 3 は主計測線および副計測線の設定例を模式的に示す説明図である。

- 15 図 4 A は計測線に沿って取得した R G B 信号から濃度信号へ変換する様子を示す R B G 信号の波形説明図であり、図 4 B は R B G 信号から作成した濃度信号の波形説明図であり、図 4 C は R G B 信号から濃度信号へ変換に用いられる R G B - 濃度変換曲線の説明図である。

図 5 A は濃度信号の変化を示す波形説明図であり、図 5 B は平均化処理した濃度信号を示す波形説明図である。

- 20 図 6 A は濃度信号の波形説明図であり、図 6 B は濃度信号の微分処理により作成された微分信号の波形説明図であり、図 6 C は微分処理（差分処理）方法を説明する説明図である。

図 7 は濃度信号の両端部に延長ダミー信号を付加した例を示す波形説明図である。

- 25 図 8 A はウェーブレット変換に用いられるフレンチハット型のマザーウェーブレットの代表例を示す説明図であり、図 8 B はメキシカンハット型マザーウェーブレットの代表例を示す説明図である。



図 9 はフレンチハット型のマザーウェーブレット波形がレベル値に応じて段階的に変化する様子を示す説明図である。

図 1 0 は濃度信号を 3 段階のレベル値を用いてウェーブレット変換することにより得られる信号波形を示す説明図である。

- 5 図 1 1 は図 1 0 に示されるウェーブレット変換により得られる信号波形をレベル値に応じて区間二乗平均処理した結果を示す説明図である。

図 1.2 は図 1 1 に示される区間二乗平均処理結果から支配レベルを決定演算した結果を示す説明図である。

- 10 図 1 3 A は図 1 2 に示される支配レベル決定演算結果を用いて濃度信号波形上の区間内最大値および微分信号波形上の区間内最小値を検索し決定するプロセスを模式的に示す支配レベル説明図であり、図 1 3 B は濃度信号の波形説明図であり、図 1 3 C は微分信号の波形説明図である。

- 15 図 1 4 A は濃度信号からの最大濃度点（特徴点）の検出結果を示す説明図であり、図 1 4 B は微分信号からの晩材終端点（特徴点）検出結果を示す説明図である。

図 1 5 は主計測線および副計測線の相互参照による検出点（特徴点）確定プロセスを模式的に示す説明図である。

図 1 6 は図 1 5 のプロセスに続けて副計測線の相互参照による検出点（特徴点）確定プロセスを模式的に示す説明図である。

- 20 図 1 7 は図 1 6 のプロセスに続く相互参照による検出点（特徴点）確定プロセスの最終結果を模式的に示す説明図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して本発明の好ましい実施形態を説明する。

- 25 図 1 および図 2 は、本発明に係る波形信号の特徴点計測方法を年輪計測に適用した場合の一実施形態を示すフローチャートである。図 1 および図 2 を参照すると、年輪計測の手順は次のプロセスからなる。

1. 年輪画像の取得（ステップ S 1）
2. 計測箇所の指定（ステップ S 2）

3. 画素情報の取得 (ステップ S 3)
4. 濃度変換 (ステップ S 4、S 5)
5. 平滑化处理 (ステップ S 6、S 7)
6. ピーク信号またはエッジ信号の取得 (ステップ S 8～S 12)
- 5 7. マザーウェーブレットの指定 (ステップ S 13)
8. ウェーブレット変換 (ステップ S 14)
9. 区間二乗平均の演算 (ステップ S 15、S 16)
10. 支配レベルの決定 (ステップ S 17)
11. 区間内最大値 (エッジ信号の場合は区間内最小値) の決定 (ステップ
- 10 S 18～S 20)
12. 主計測線と副計測線の相互参照 (ステップ S 21)
13. 副計測線間の相互参照 (ステップ S 22)
14. 年輪箇所の決定 (ステップ S 23)
15. 年輪幅の計測および結果出力 (ステップ S 24、S 25)
- 15 また、本発明の一実施形態に係る波形信号の特徴点計測装置は、上記ステップ S 2からステップ S 25までのプロセスを実行することができるプログラムであり、基本システムがインストールされたパーソナルコンピュータなどのコンピュータ装置にインストールすることにより、実行可能となる。
- この実施形態におけるプログラムは、計測箇所の指定手段、画素情報取得
- 20 手段、濃度変換手段、平滑化处理手段、ピーク信号またはエッジ信号取得手段、マザーウェーブレット指定手段、ウェーブレット変換手段、区間二乗平均の演算手段、支配レベル決定手段、区間内最大値 (エッジ信号の場合は区間内最小値) の決定手段、主計測線と副計測線の相互参照手段、副計測線間の相互参照手段、年輪箇所の決定手段、年輪幅の計測手段および結果出力手
- 25 段を有する。

次に、上記各プロセスについて詳述する。

1. 年輪画像の取得 (ステップ S 1)

デジタルカメラやスキャナ等の撮像装置を用いて年輪画像を取得する。例

例えば小型の移動可能な試料の場合にはスキャナを使用し、大型の試料には高解像度タイプのデジタルカメラを使用する。この際、最も注意すべき点は、所定の画像解像度を得ることである。檜材では、最も年輪間隔の狭小な部分で1層あたり約0.1mmという箇所を生ずることがある。このような部分を識別5 するためには、ナイキストの標本化定理により、1画素あたりの大きさをその半分の0.05mm以下にすべきである。

さらに安全と計測誤差を考慮すると、1画素あたりの大きさ約0.02mmに相当する1200dpiの解像度で画像取得を行うことが好ましい。大面積の試料でこの解像度を計測面全域にわたって保持するためには、一回あたりの撮影を10 小領域に限定し、画像を継ぎ合わせるという手法を用いることが好ましい。

本発明で扱う年輪画像としては、上記のようなデジタル画像取得装置を用いて試料表面から直接取得した画像のほかに、銀塩写真（通常のフィルムを使用する写真）等をデジタル変換した画像も同様に扱うことができる。また、X線写真、X線CT画像（X線断層写真）、MRI画像のような試料内部の年輪画像15 も扱うことができる。

## 2. 計測箇所の指定（ステップS2）

年輪幅計測は、図3に示すように、少なくとも1本の計測線1に沿って行われる。木口（横断面）円盤上では、通常、計測線は樹木中心（図3中左方向）から樹皮方向（図3中右方向）に向かって設定される。また、柾目（縦20 断面）では、木理と直交するように樹木中心方向から樹皮方向に向かって設定される。本発明においては、好ましくは、認識性能の向上を図るため、1本の主計測線1に対し、それと平行に適切な間隔を置いて主計測線1の両側に各々複数の副計測線2、3、4、5を設定する（図3参照）。

副計測線の数、木口で2本、柾目面で4本が適当であることが我々の実験25 によって確かめられている。ただし、試料による個体差などもあり、必ずしもこの限りではない。実際のプログラム上では、副計測線を設定する間隔と本数、および年輪画像上で主計測線1の開始点1aと終端点1bの2点を指定することにより、計測箇所を指定可能とすることが好ましい。

### 3. 画素情報の取得（ステップS3）

上記したように、主計測線1および副計測線2～5に沿って各画像の画素情報（通常のパーソナルコンピュータの場合には、BGR3チャンネルの8ビットデジタル信号）を取得する。画像取得に関しては、計測線上の画素情報のみ  
 5 でなく、後述の平滑化処理のために計測線周辺画素（具体的な周辺画素数は、平滑化の程度によって決定される）の情報も同時に取得することが好ましい。

なお、本発明方法による年輪認識では色情報を使用しないため、BGR信号の平均信号や混合信号、あるいは特定チャンネルの信号のみ（たとえばG信号のみ）の輝度に基づく信号を使用することができる。通常は、B：G：R＝1：

10 1：1の割合で平均混合した信号を使用すればよい。

### 4. 濃度変換（ステップS5）

上記方法で取得された画素情報は、各画素の輝度に起因しているため、値が大きくなるほど明るくなるという特性を有する。さらに、パーソナルコンピュータシステム上のRGB信号には、通常、CRTモニタの特性を補正するため  
 15 にガンマ補正という非線形変換が施されている。一方、年輪の濃淡変化は年輪の細胞密度に起因しているため、密度あるいは密度に関連している画像濃度をもとに濃淡を記述するのが、年輪年代学の慣例である。

濃度記述では、値が大きくなるほど暗くなる。本発明による実施形態では、こうした年輪年代学の慣例に従い、赤、緑の平均値信号（RGB平均信号）を  
 20 濃度信号に変換している（図4A、4Bおよび4C参照）。変換方法としては、画像中の濃度既知部分（通常はステップタブレットチャート）から導出される変換式を用いることができる。変換式の一例をあげると、

$$D = -0.79 \times \ln(d) + 0.49 \quad \dots(11)$$

ただし、D：濃度信号値

d：RGB平均信号値

25 また、非線形の変換ではなく、下記のような線形変換で代用してもよい。

$$D = -\beta d + c \quad \dots(12)$$

ただし、 $\beta$ :正の定数値

$c$ :定数値

なお、2 値化等の画像処理を施す場合や、従来の方法では年輪識別のための閾値設定の必要性から、年輪信号波形の振幅特性をどのように記述するかが重要であった。

- 5      しかし、本発明では後述するとおり、年輪信号波形の値そのものとは無関係に年輪識別を行うことができるため、RGB、輝度あるいは濃度いずれの信号を用いても、年輪識別性能に大差はない。したがって、処理ステップや時間短縮を図るためには、このプロセスは省略可能である。ただし、このプロセスを省略すると年輪信号波形は反転することに留意する必要がある。

#### 10      5. 平滑化処理（ステップ S 6、S 7）

上記プロセスによって取得した主計測線 1 および副計測線 2 ～ 5 上の各画素値に対し、周辺画素の情報を用いて平滑化を行う。平滑化を施すことによって、試料自体や測定機器に起因するノイズによる誤認識を軽減することができる（図 5 A および 5 B 参照）。

- 15      平滑化方法には、移動平均処理または、移動メジアン処理を用いることができる。周辺画素数としては、例えば 1200dpi 解像度の場合、我々の実験では木口面で、計測線直交方向に 5 画素、計測線方向に 3 画素程度、柾目面で計測線直交方向に 15 画素、計測線方向に 5 画素程度が適切であったが、これらの画素数に限定されない。なお、平滑化処理を行わない場合には、平滑化処理範囲を計測線直交方向および計測線方向に各々 1 画素として設定する。

#### 20      6. ピーク信号またはエッジ信号の取得（ステップ S 8 ～ S 12）

上記プロセスによって取得した信号は、波形の極大箇所が各年輪層の最も濃い部分（晩材最高濃度部）を表している。この濃度情報信号を、以下、ピーク信号と称することにする。このピーク信号の特徴点であるピーク点（波形の極大箇所）を認識していくことにより、各年輪層を識別することができ

る。

一方、このピーク信号の微分信号（実際の演算は差分信号）における特徴点であるトラフ点（波形の極小箇所）は、年輪画像の暗部（高濃度部）から明部（低濃度部）へと移行する点に対応し、各年輪層の終端点（晩材終端）

5 に対応する。この微分信号を、以下、エッジ信号と称することにする。

通常の微分信号は、隣接画素どうしの差分演算によって得られるが、隣接差分演算ではノイズの影響を受けやすくなる。そこで、本発明の好ましい実施形態では、複数画素の間隔を隔てた複数の画素同士の差分演算を行うことにより、ノイズの軽減を図っている（図 6 C 参照）。

10 ピーク信号（図 6 A に示す波形）とエッジ信号（図 6 B に示す波形）を比較すると、波形ノイズの影響などにより、各年輪の識別にはピーク信号の方が検出性能は良好であるが、年輪幅を正確に計測するという観点では晩材終端に対応しているエッジ信号の方が精度は高い。そこで、本発明の好ましい実施形態では、このような特徴を活かして、ピーク信号による認識、エッジ

15 信号による認識、両者を併用した認識をメニュー上で選択可能にしている。

後述の「8. ウェーブレット変換」の箇所で述べるウェーブレット変換（畳み込み積分演算）では、ある 1 点の画素に対して周辺画素を含む演算を行う。したがって、計測線両端部（図 3 の開始点 1 a および終端点 1 b）では、画素不足による演算不能を防止するため、信号自身を折り返してダミー

20 の信号（図 7 の波形の両端の点線部分参照）を作成しておくことが望ましい。ダミー信号として必要な長さは、後述の「7. マザーウェーブレットの指定」で指定するマザーウェーブレットのサポートと「8. ウェーブレット変換」で指定するレベル数に依存するが、最も長い端部所理の長さは最低位のレベル j の時であるから、これに合わせてダミー信号を延長しておけば十分

25 である。

7. マザーウェーブレットの指定（ステップ S 1 3）

マザーウェーブレットとして用いることができる関数  $\psi(x)$  は、

(a) 端部が 0 または 0 に収束する関数であること

(b) 全区間での総和（積分値）が0であること  
の2つの条件を満たす関数である。

また次の条件は、必ずしも満たす必要はないが、可能であれば満たしていることが望ましい。

- 5 (c) サポート（関数の値が0ではない区間）がコンパクトに纏まっていること

マザーウェーブレットの具体例として、次のフレンチハット型の関数（式（13））とメキシカンハット型の関数（式（14））をあげることができる（図8Aおよび8B参照）。

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & -1 \leq x \leq 1 \\ -0.5 & -3 \leq x < -1, \text{または } 1 < x \leq 3 \\ 0 & x < -3, \text{または } 3 < x \end{cases} \quad \dots(13)$$

10

$$\phi(x) = -\frac{1}{2} \frac{d^2}{dx^2} e^{-x^2} = (1 - 2x^2)e^{-x^2} \quad \dots(14)$$

本発明の好ましい実施形態においては、生成が容易でサポートもコンパクトにまとまっているため、式（13）のフレンチハット型関数をデフォルトとして用いている。もちろん、指定すればメキシカンハット型関数やその他の  
15 マザーウェーブレットも使用可能である。

#### 8. ウェーブレット変換（ステップS14）

1次元の画像信号  $f(x)$  に対するウェーブレット変換を次式（15）で定義する。

$$d_j(k) = 2^j \int_{-\infty}^{\infty} \phi(2^j(x - k)) f(x) dx \quad \dots(15)$$

20 式（14）において、 $f(x)$  は計測線上のピーク信号またはエッジ信号である。また、上記「6. ピーク信号またはエッジ信号の取得」で述べたように、信号両端部は、信号自身を折り返すことによって適切に処理されている。 $\psi(x)$  は「7. マザーウェーブレットの指定」で述べたマザーウェーブレッ

トである。 $2^j$ はスケールパラメータで、レベル（スケールレベル） $j$ は0  
または負の整数である。このスケールパラメータによって、マザーウェーブ  
レットの幅および高さを同一面積に保持したまま2のべき乗則にしたがって  
変化させることができる（図9参照）。 $k$ はトランスレートパラメータを表  
5 している。なお、式(15)ではスケーリングパラメータを $2^j$ としているが、  
これに限られず、 $b^j$ （ただし、 $b > 1$ ）としておいて次式(16)のように  
表すこともできる。

$$d_j(x) = b^j \int_{-\infty}^{\infty} \psi(b^j(x-k)) f(x) dx \quad \dots(16)$$

式(16)では、 $1 < b < 2$ のとき、スケーリングパラメータのステップ間  
10 隔は式(14)の時よりも細くなり、 $2 < b$ のとき、スケーリングパラメー  
タのステップ間隔は式(15)の時よりも粗くなる。

我々の実験で確認されているように、通常は式(15)で表される2のべき  
乗ステップで良好な検出性能を得ている。

式(15)や式(16)の意味するところは、大きさ（スケーリングパラメー  
15 タによって規定される）と位置（トランスレートパラメータによって規定さ  
れる）を変化させたマザーウェーブレット $\psi(x)$ と画像から形成される信号  
 $f(x)$ の畳み込み積分演算である。この演算によって生成される $d_j(x)$ は、  
 $f(x)$ の局所的な周期とマザーウェーブレット $\psi(x)$ のサポート（ $\psi$ が0でな  
い区間）が概ね一致したときに激しく波立つという特徴がある（図10参  
20 照）。

図9および図10に示す処理では、説明および理解を容易にするためにレ  
ベル $j$ を3段階に変化させているが、理論的にはレベル $j$ を8段階に変化さ  
せると、

$$2^{8-1} = 2^7 = 128 \quad \dots(17)$$

25 となり、100倍以上の年輪幅に対応することができる。我々の実験でも、8  
段階に設定したレベル $j$ によって、年輪幅0.1mmから1cmを超える箇所まで



対応できることが確認された。したがって、レベル  $j$  の段階数は、計測対象物の特性に応じて任意に設定することができる。

#### 9. 区間二乗平均の演算 (ステップ S 16)

「8. ウェーブレット変換」で生成された  $d_j(x)$  に対して、次式(18)に示すように、区間二乗平均を演算する (図 11 参照)。

$$g_j(x) = 2^{j-1} a^{-1} \int_{x-2^{-j}a}^{x+2^{-j}a} |d_j(k)|^2 dk \quad \dots(18)$$

ただし、 $a$  はマザーウェーブレット  $\psi(x)$  のサポートによって決定される定数である。

式(18)では、二乗平均を求める区間は、 $x - 2^{-j}a$  から  $x + 2^{-j}a$  までになっているが、これに限定されず、次式(19)のように定義してもよい。

$$g_j(x) = 2^{-1} p_j^{-1} \int_{x-p_j}^{x+p_j} |d_j(k)|^2 dk \quad \dots(19)$$

すなわち、 $p_j$  はスケールレベル  $j$  が低レベルになるほど大きくなるようにスケールレベル  $j$  に応じて設定されるので、区間二乗平均の演算は、レベル  $j$  の高い高周波の  $d_j(x)$  に対しては狭い区間  $[x - p_j, x + p_j]$  で、レベル  $j$  の低い低周波の  $d_j(x)$  に対しては広い区間  $[x - p_j, x + p_j]$  でそれぞれ求めればよい。式(18)に示す  $x - 2^{-j}a$  から  $x + 2^{-j}a$  までというのは、あくまでも標準となる積分区間である。積分区間  $[x - p_j, x + p_j]$  をこれよりも狭くすると、局所的な濃度変化に対して鋭敏になりやすいがノイズの影響も受けやすくなる。一方、積分区間  $[x - p_j, x + p_j]$  をこれよりも広くすると、局所的な濃度変化に対しては鋭敏ではなくなるものの、ノイズに対して強い安定志向になる傾向がある。したがって、積分区間  $[x - p_j, x + p_j]$  を上記の標準的な状態から加減してやることによって、検出の感度調節を図ることもできる。

#### 10. 支配レベルの決定 (ステップ S 17)

ある点  $x$  において、式(18)または式(19)で定義された  $g_j(x)$  が最大となるレベル  $j$  を点  $x$  における支配レベル  $j_d$  とする。これにより、計測線

上のすべての点が、ある一つの支配レベルを持つことになる（図 1 2 参照）。支配レベル  $j_d$  は、年輪幅が広い部分では低くなる傾向があるのに対し、年輪幅が狭い部分や晩材周辺の信号が著しく変化する部分では高くなる傾向がある。

- 5      1 1. 区間内最大値（エッジ信号の場合は区間内最小値）の決定（ステップ S 1 8 ～ S 2 0）

図 1 3 A、1 3 B および 1 3 C に示すように、

- (a)  $f(x)$  がピーク信号の場合には、 $f(x)$  の値が区間  $[x - 2^{-j_d} a, x + 2^{-j_d} a]$  における  $f(x)$  の最大値  $f_{\max}(x)$  と等しければ、点  $x$  を年輪層内の最大濃度箇所と決定する。

(b)  $f(x)$  がエッジ信号の場合には、 $f(x)$  の値が区間  $[x - 2^{-j_d} a, x + 2^{-j_d} a]$  における  $f(x)$  の最小値  $f_{\min}(x)$  と等しければ、点  $x$  年輪層内の晩材終端と決定する。

- 15      これを全範囲にわたって行うことで、計測線上のすべての年輪を検出することができる。

なお、上記 (a)、(b) は上記したスケールパラメータ  $b^j$  における  $b$  が 2 の場合であるが、下記のように表すこともできる。

- (c)  $f(x)$  がピーク信号の場合には、 $f(x)$  の値が区間  $[x - b^{-j_d}, x + b^{-j_d}]$  における  $f(x)$  の最大値  $f_{\max}(x)$  と等しければ、点  $x$  を年輪層内の最大濃度箇所と決定する。

(d)  $f(x)$  がエッジ信号の場合には、 $f(x)$  の値が区間  $[x - b^{-j_d}, x + b^{-j_d}]$  における  $f(x)$  の最小値  $f_{\min}(x)$  と等しければ、点  $x$  を年輪層内の晩材終端と決定する。

- 25      これをさらに一般化すると、支配レベル  $j_d$  に応じた定数  $q_{j_d}$  を用いて下記のように表すことができる。

(e)  $f(x)$  がピーク信号の場合には、 $f(x)$  の値が区間  $[x - q_{j_d}, x + q_{j_d}]$  における  $f(x)$  の最大値  $f_{\max}(x)$  と等しければ、点  $x$  を年輪層内の最大濃度箇所と決定する。

(f)  $f(x)$  がエッジ信号の場合には、 $f(x)$  の値が区間  $[x - q_{jd}, x + q_{jd}]$  における  $f(x)$  の最小値  $f_{\min}(x)$  と等しければ、点  $x$  を年輪層内の晩材終端と決定する。

## 1 2. 主計測線と副計測線の相互参照 (ステップ S 2 1)

- 5 上記「2. 計測箇所指定」で定めた主計測線 1 上の年輪が不明瞭であった場合には、上記「3. 画素情報の取得」から「1 1. 区間内最大値 (エッジ信号の場合は区間内最小値) の決定」の手順で各層の最大濃度箇所や晩材終端を検出しようとしても検出されないことがある。また、年輪層の部分的な不明瞭は、ランダムに発生する場合が多い。この状態を非検出と呼ぶこと
- 10 にする。

また、主計測線 1 上に木材組織の不均一な箇所があったり、割れや研磨痕などの本来の年輪以外濃度変化 (以下ノイズと称する) があったりした場合には、最大濃度箇所や晩材終端以外の箇所を検出してしまうことがある。この状態を誤検出と呼ぶことにする。

- 15 通常、年輪は木口では同心円状に、柾目では平行状に生じるのに対し、ノイズの発生パターンは不確定的である。これらの違いを利用して、主計測線上に非検出や誤検出を生じても、正しい検出結果を出力できるように、「2. 計測箇所指定」で設定した副計測線上の検出結果 (「3. 画素情報の取得」から「1 1. 区間内最大値 (エッジ信号の場合は区間内最小値) の決定」のプロセスをそれぞれの副計測線 2 ~ 5 上に対して行ったもの) と相互参照しながら、年輪として確定してもよいか否かを検証する。その具体的な手順を以下に記す。
- 20

- 実際のプログラム上では相互参照を効率よく進めるため、あらかじめ、すべての主および副計測線上の検出点の位置と計測線番号を確定候補点として
- 25 メモリーに記憶しておく。

木口面では、通常年輪は同心円状であるが、微小な幅の中で考えた場合には、ほぼ平行とみなすことができる。また、柾目では平行状である。ところが、いずれも計測線方向に直交する完全な平行状態ではないため、主計測線

上の検出位置と副計測線上の検出位置とで若干のズレを生じることがある。本来同一年輪層であるべき検出点が、主または副計測線設定位置の違いによって生じる誤差を吸収するために、すなわち、各計測線の始端から略同一距離の範囲内にある検出点か否かを決定するために、同一とみなしうる幅  $h$  を設定する。

次に、複数存在する主および計測線上のうち、何箇所以上に検出点を生じた場合に、その検出点を正しいものとして確定してよいかを定義する。我々の実験では、国産檜材の場合、木口では主および副計測線合計 3 本中 2 箇所以上に検出点を生じたもの、柾目では主および副計測線合計 5 本中 3 箇所以上

10 上に検出点を生じたものとした場合、最も良好な結果が得られている。より一般的には、同一とみなしうる幅  $\pm h$  以内で主および副計測線合計  $n$  本中  $m$  箇所以上に検出点のあるものと、定義することができる。

上記規則に従って、主計測線上の全検出点に対し、幅  $\pm h$  以内で主および副計測線合計  $n$  本中  $m$  以上に検出点のあるものを、正しい年輪（各層内最大濃度箇所または各層内晩材終端）として確定していく（図 1 4 A および 1 4 B 参照）。これにより、

15

（1）主計測線上の検出点が正しい年輪であった場合には、相互参照により正しいものとして確定される。例えば、図 1 5 の例では、検出点  $a_1 \sim a_3$  においては主計測線上に検出点があり且つ 5 本の計測線中 3 つ以上の検出点

20 があるので、検出点が確定する。

（2）主計測線上の検出点が誤検出であった場合には、相互参照により排除される。例えば、図 1 5 の例では、検出点  $a_5$  は 5 本の計測線中 3 箇所未満であるため、確定しないで次の「1 3. 副計測線間の相互参照」を行う。

（3）主計測線上に非検出があった場合（図 1 5 における検出点  $a_4$  参照）には、この過程では考慮されないので、次の「1 3. 副計測線間の相互参照」を行う。

25

「1 3. 副計測線間の相互参照」においては、図 1 6 に示すように、検出点  $a_4$  においては 3 箇所以上に検出点があるので、優先順位 1 を検索中に確

定する。しかし、検出点  $a_5$  においては 5 本の計測線中 3 箇所未満であるので確定しない。

図 1 7 に示す段階においては、検索点  $a_1 \sim a_4$  は確定済みであり、一方、検出点  $a_5$  は検出点として確定せずに相互参照が終了する。

- 5      なお、次の「1 3. 副計測線間の相互参照」を効率よく行うために「1 2. 主計測線と副計測線の相互参照」の過程で正しい年輪として確定されたものは、確定候補点から順次消去する。

### 1 3. 副計測線間の相互参照 (ステップ S 2 2)

- 10      複数存在する副計測線 2 ～ 5 に、あらかじめ優先順位をつける。通常は、主計測線 1 に近いほど、高い優先順位とする。このとき、同順位のないようにしておく。

- 15      まず、確定候補点として残っている検出点のなかで最も優先順位の高い副計測線上の全検出点を、「1 2. 主計測線と副計測線の相互参照」と同様の規則に従って正しい年輪として確定していく (図 1 6 における検出点  $a_4$  参照)。なお、この過程で正しい年輪として確定されたものは、確定候補点から順次消去する。

- 20      以下、優先順位の高いものから順に同様のことを行う。これらの一連のプロセスは、確定候補点がなくなった時点、または最も優先順位の低い副計測線に対して行った時点で終了する (図 1 7 参照)。なお、実際には、 $n$  本中  $m$  以上の規則の場合には、最低順位を含む順位下位の  $m - 1$  本に対しては無意味であるから、この順位で打ち切りにしてよい。

- 25      上記したように、上記「1 2. 主計測線と副計測線の相互参照」のプロセスで主計測線上に非検出があった場合にも、上記「1 3. 副計測線間の相互参照」を行うことで正しい年輪として確定される (図 1 5、図 1 6 における検出点  $a_4$  参照)。

### 1 4. 年輪箇所の決定 (ステップ S 2 3)

上記「1 2. 主計測線と副計測線の相互参照」と上記「1 3. 副計測線間の相互参照」の年輪確定点を統合して、年輪箇所 (各層内最大濃度箇所また

は各層内晩材終端)とする(図14Aおよび14B参照)。なお、上記「13. 副計測線間の相互参照」の過程で確定された副計測線上の確定点は、統合の際に主計測線に射影しておく。

15. 年輪幅の計測および結果の出力(ステップS24、S25)

- 5 すべての年輪確定点の情報は主計測線1上に集められているため、主計測線上の各年輪確定点の座標値から各層の画素数をカウントしていく。上記「1. 年輪画像の取得」で設定した画像解像度によって画素1個あたりの大きさが決められるので、

$$(\text{年輪幅}) = (\text{各層の画素数}) \times (1 \text{ 画素の大きさ}) \quad \dots(20)$$

- 10 によって各層の年輪幅を求めることができる。この結果を、出力することにより、一連の全プロセスが完了する。

ところで、年輪年代学に有用なデータは、年輪幅だけではない。層内最大濃度(すなわち層内最大密度)、層内最小濃度(すなわち層内最小密度)、早材晩材比なども、重要なデータとなる。

- 15 上記したプロセスによる波形信号の特徴点計測方法の効果を表1および表2に示す。

表 1

濃度信号を用いた最大濃度点検出の結果

試料	計測面	年輪数	検出率または誤検出率 [%]					
			従来の方法		新しい方法 (ウェーブレットのみ)		新しい方法 (相互参照のみ)	
			検出率	誤検出率	検出率	誤検出率	検出率	誤検出率
1	木口	108	97.2	2.8	100.0	0.0	99.1	0.0
	柁目	109	87.1	7.8	99.0	1.8	97.2	1.9
2	木口	109	97.3	1.9	100.0	0.0	99.1	0.0
	柁目	109	98.2	1.8	98.2	0.0	98.2	0.9
3	木口	163	100.0	0.6	100.0	0.0	100.0	0.0
	柁目	163	97.6	1.2	98.8	0.6	98.2	0.6

表 2

微分信号を用いた晩材終端点検出の結果

試料	計測面	年輪数	検出率または誤検出率 [%]					
			従来の方法		新しい方法 (ウェーブレットのみ)		新しい方法 (相互参照のみ)	
			検出率	誤検出率	検出率	誤検出率	検出率	誤検出率
1	木口	108	96.3	3.7	99.1	0.9	98.1	0.9
	柁目	109	83.5	10.8	96.3	2.8	94.5	4.6
2	木口	109	95.4	2.8	99.1	0.0	98.2	0.9
	柁目	109	96.3	3.7	98.2	0.9	97.2	1.9
3	木口	163	99.4	1.2	100.0	0.0	99.4	0.0
	柁目	163	96.3	2.5	98.8	1.2	98.8	1.2

表 1 は、波形信号に上記濃度信号を用いた場合の最大濃度点検出結果を従来方法による検出結果と比較して示したものである。また、表 2 は、波形信号に上記微分信号を用いた場合の最大晩材終端点検出結果を従来方法による検出結果と比較して示したものである。

- 5 表 1 および表 2 において、本発明による新しい方法は、ウェーブレット変換のみ（複数の計測線の相互参照は省略）の場合と、複数の計測線の相互参照のみ（ウェーブレット変換は無し）の場合と、ウェーブレット変換および複数の計測線の相互参照を併用した場合とに分けている。

表 3

## 検出率・誤検出率・非検出率の定義

		検 出	
		検 出	検出せず
入力	年 輪	S s	S n
	年輪以外	N s	N n

10

上記表 1 および表 2 に示す検出率、誤検出率、非検出率は、上記表 3 に示す S s、S n、N s、N n の関係から、次式（21）、（22）および（23）に示す方法で定義したものである。

15

20



$$\text{検出率} = S_s / (S_s + S_n) \quad \dots(21)$$

$$\text{誤検出率} = N_s / (S_s + N_s) \quad \dots(22)$$

$$\text{非検出率} = S_n / (S_s + S_n) \quad \dots(23)$$

上記表 1 および表 2 からわかるように、本発明の計測方法を用いれば、いずれの場合も従来の方法に比べて検出率の増加、誤検出率および非検出率の低下が確認され、検出性能が全般的に向上することが実証された。

- 5      以上、年輪幅を計測する場合について詳述したが、上記「14. 年輪箇所  
の決定」までを正確に行うことができれば、ピーク信号やエッジ信号からこれら年輪幅以外の特徴量も容易に求めることができる。

- また、本発明による計測方法および計測装置は、木材の年輪計測のみに用途を限定されず、例えば個人認証のための指紋、音紋、網膜等の計測、電子  
10    部品における配線パターンの計測、脳波信号等の生体信号の計測等にも適用  
することができる。

#### 産業上の利用可能性

- 以上の説明から明らかなように、本発明による波形信号の特徴点計測方法  
および計測装置によれば、特徴点間距離が不規則な波形信号であっても、ピーク  
15    波形信号の特徴点を正確に検出することができるので、木材の年輪等の  
検出性能を著しく向上することができる。

- すなわち、計測法にウェーブレット変換を導入する前は、 $f(x)$  上にある  
閾値を定めて閾値以上か閾値以下かで区別する単純二値化で年輪検出を行っ  
ていたため、ノイズや不鮮明な年輪に対して非常に弱く、また閾値が個体差  
20    に左右されやすい欠点を持っていたが、本発明によるウェーブレット変換を  
用いた計測法を導入することにより、その場その場その場の年輪の細かさ  
(あるいは粗さ) や年輪の鮮明さ (あるいは不鮮明さ) に自動的に適応しな  
がら年輪検出を行えるようになり、これが検出性能の向上に寄与するのであ  
る。

- 25    また、この検出性能は、閾値設定が不要なため、個体差に左右されにくい

頑健な面も持ちあわせており、この点においてもきわめて画期的かつ効果的である。

## 請 求 の 範 囲

1. 波形上の特徴点の値または特徴点間距離が不規則な波形信号の特徴点  
を検出する方法であって、所定のマザーウェーブレットと複数段階のスケール  
レベルを用いて所定区間内の波形信号をウェーブレット変換し、このウェ  
5 ーブレット変換により生成された各スケールレベル毎のウェーブレット変換  
信号に対し、該スケールレベルに応じた区間幅毎に区間二乗平均を算出し、  
前記所定区間内の任意の点において前記区間二乗平均の算出値が最大となる  
ウェーブレット変換信号のスケールレベルをその点における支配レベルとし、  
この支配レベルに応じた区間幅毎に前記波形信号が最大値または最小値とな  
10 る点を波形信号の特徴点として検出することを特徴とする波形信号の特徴点  
計測方法。

2. 請求項 1 記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記ウェーブレット変換に次式 (1)、すなわち、

$$d_j(x) = b^j \int_{-\infty}^{\infty} \psi(b^j(x-k)) f(x) dx \quad \dots(1)$$

15 ここで、 $f(x)$  は波形信号、 $\psi(x)$  はマザーウェーブレット、 $b^j$  はスケールパラメータであり、 $b$  は定数 (ただし、 $b > 1$ )、 $j$  は 0 または負の整数からなるスケールレベル、 $k$  はトランスレートパラメータである  
を用いることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

20 3. 請求項 2 記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記マザーウェーブレットが次式 (2)、すなわち、

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & -1 \leq x \leq 1 \\ -0.5 & -3 \leq x < -1, \text{ または } 1 < x \leq 3 \\ 0 & x < -3, \text{ または } 3 < x \end{cases} \quad \dots(2)$$

で定義されるフレンチハット型の関数であることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

25 4. 請求項 2 記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記マザーウェーブレットが次式 (3)、すなわち、

$$\phi(x) = -\frac{1}{2} \frac{d^2}{dx^2} e^{-x^2} = (1 - 2x^2) e^{-x^2} \quad \dots(3)$$

で定義されるメキシカンハット型の関数であることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

5. 請求項2記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記

5 区間二乗平均の演算に、次式(4)、すなわち、

$$g_j(x) = 2^{-1} p_j^{-1} \int_{x-p_j}^{x+p_j} |d_j(k)|^2 dk \quad \dots(4)$$

ここで、jは式(1)で用いたスケールレベル、kはトランスレートパラメータ、 $p_j$ はスケールレベルjが低レベルになるほど大きくなるようにスケールレベルjに応じて設定される定数である

10 を用いることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

6. 請求項5記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記区間二乗平均の演算式(4)における $p_j$ が次式(5)、すなわち、

$$p_j = b^{-j} a \quad \dots(5)$$

15 ここで、aは式(1)で用いたマザーウェーブレット $\psi(x)$ のサポートによって決定される定数、bは式(1)で用いた定数、jは式(1)で用いたスケールレベルである

で定義されるものであることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

7. 請求項2または5記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記式(1)におけるbの値を2とすることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

20

8. 請求項1記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記波形信号は、木材年輪画像等の対象画像から該画像上に設定した計測線に沿って取得した画素上の輝度または濃度情報信号であることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

9. 請求項 1 記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記波形信号は、木材年輪画像等の対象画像から該画像上に設定した計測線に沿って取得した画素上の輝度または濃度情報信号をさらに微分処理したものであることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

5      10. 請求項 9 記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記微分処理は複数画素分の間隔を隔てた複数の画素同士の差分演算処理であることを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

11. 請求項 8 記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記波形信号が濃度情報信号であるとき、該濃度情報信号を  $f(x)$  とし、前記支配レベルを  $j_d$  とし、該支配レベルに応じた定数を  $q_{jd}$  とし、前記計測線上の任意の点を  $x$  としたとき、 $f(x)$  の値が区間  $[x - q_{jd}, x + q_{jd}]$  における  $f(x)$  の最大値  $f_{\max}(x)$  と等しければ、その点  $x$  を、年輪層内の最大濃度箇所を示す特徴点と決定することを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

12. 請求項 9 記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記波形信号が濃度情報信号を微分した微分信号であるとき、該微分信号を  $f(x)$  とし、前記支配レベルを  $j_d$  とし、該支配レベルに応じた定数を  $q_{jd}$  とし、前記計測線上の任意の点を  $x$  としたとき、 $f(x)$  の値が区間  $[x - q_{jd}, x + q_{jd}]$  における  $f(x)$  の最小値  $f_{\min}(x)$  と等しければ、その点  $x$  を、年輪層内の晩材終端を示す特徴点と決定することを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

13. 請求項 8 または 9 記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記計測線が主計測線と、該主計測線の両側に各々等間隔を隔てて並列に設定される複数の副計測線とからなり、該主計測線および副計測線の始端から各々略同一距離の点において波形信号の特徴点が検出されたとき、少なくとも該特徴点の数が主計測線および副計測線の本数に対し過半数であることを条件の 1 つとして、その特徴点を主計測線上の特徴点として決定することを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

14. 請求項 13 記載の波形信号の特徴点計測方法において、前記主計測線の両側に各々 2 本の副計測線を設定し、該主計測線および副計測線の始端

から各々略同一距離の点において波形信号の特徴点が検出されたとき、少なくとも主計測線上と該主計測線に近い位置にある 2 本の副計測線のうちのいずれか一方上に特徴点があり且つ他のいずれかの副計測線上に特徴点がある場合、または、主計測線に近い位置にある 2 本の副計測線上と他のいずれかの副計測線上に特徴点がある場合に、その特徴点を主計測線上の特徴点として決定することを特徴とする波形信号の特徴点計測方法。

15 15. 請求項 8 または 9 記載の波形信号の特徴点計測方法において、対象画像から該画像上に設定した計測線に沿って取得した画素上の輝度または濃度情報に対し周辺画素の情報を用いて平滑化することを特徴とする波形信号  
10 の特徴点計測方法。

16. 波形上の特徴点の値または特徴点間距離が不規則な波形信号の特徴点を検出する装置であって、所定のマザーウェーブレットと複数段階のスケールレベルを用いて所定区間内の波形信号をウェーブレット変換するウェーブレット変換手段と、このウェーブレット変換手段により生成された各スケールレベル毎のウェーブレット変換信号に対し、該スケールレベルに応じた区間幅毎に区間二乗平均を算出する区間二乗平均演算手段と、前記所定区間内の任意の点において前記区間二乗平均の算出値が最大となるウェーブレット変換信号のスケールレベルをその点における支配レベルとして決定する支配レベル決定演算手段と、この支配レベルに応じた区間幅毎に前記波形信号が最大値または最小値となる点を波形信号の特徴点として検出する特徴点検  
15 索手段と、を有することを特徴とする波形信号の特徴点計測装置。

17. 請求項 15 記載の波形信号の特徴点計測装置において、検出された波形信号の特徴点に基づき特徴点間距離を算出する特徴点間距離手段をさらに有することを特徴とする波形信号の特徴点計測装置。

## 要 約 書

- 木材の年輪画像等から取得した濃度波形信号等のように波形の特徴点の値または特徴点間距離が不規則な波形信号であっても、波形の特徴点（ピーク点またはトラフ点）を迅速かつ高精度に検出することができる計測方法および装置を提供する。この計測方法および装置においては、所定のマザーウェーブレットと複数段階のスケールレベルを用いて所定区間内の波形信号をウェーブレット変換し、このウェーブレット変換により生成された各スケールレベル毎のウェーブレット変換信号に対し、該スケールレベルに応じた区間幅毎に区間二乗平均を算出し、該所定区間内の任意の点において該区間二乗平均の算出値が最大となるウェーブレット変換信号のスケールレベルをその点における支配レベルとし、この支配レベルに応じた区間幅毎に該波形信号が最大値または最小値となる点を波形信号の特徴点として検出する。

( 1 / 15 )

図 1

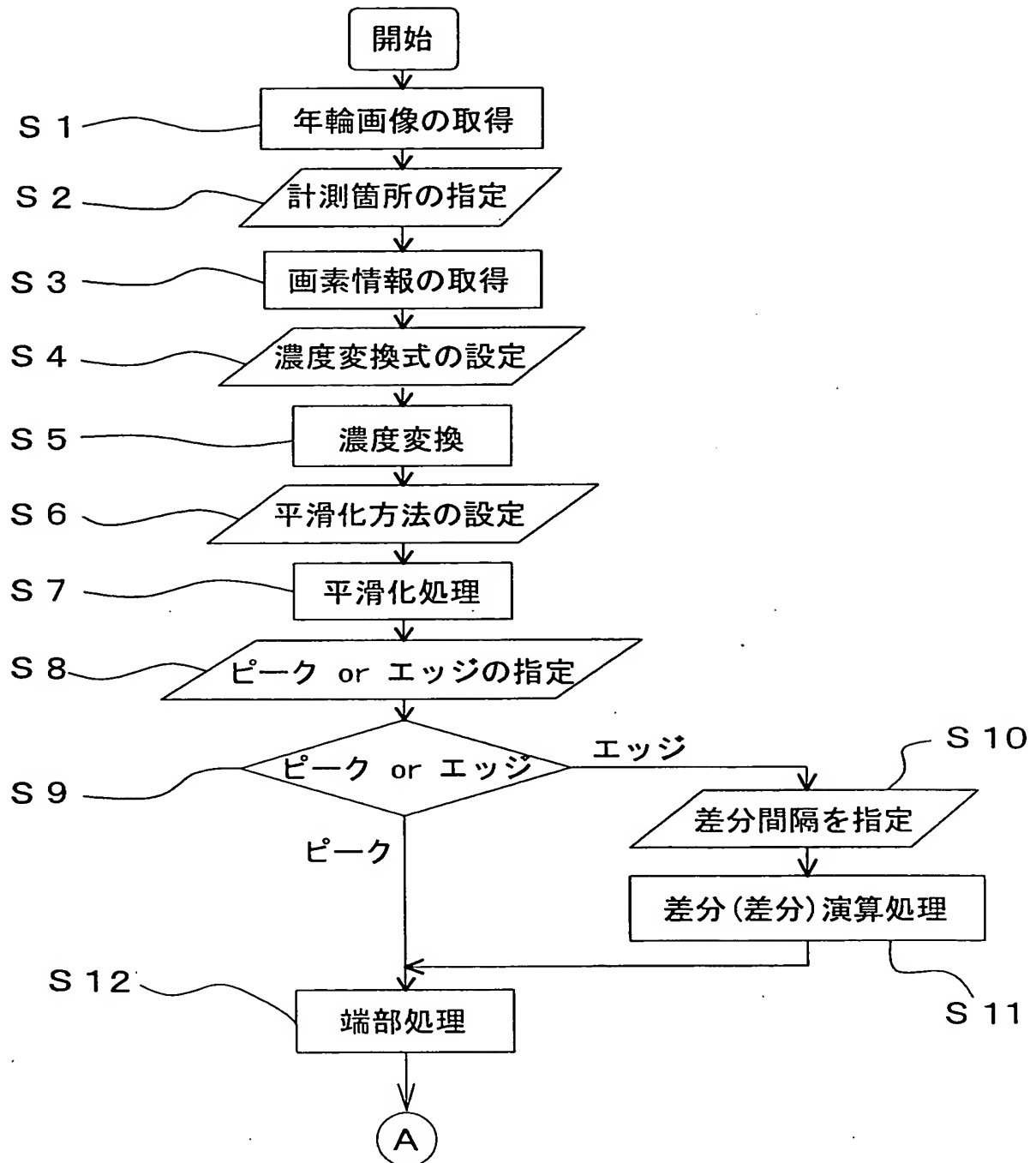




図 2

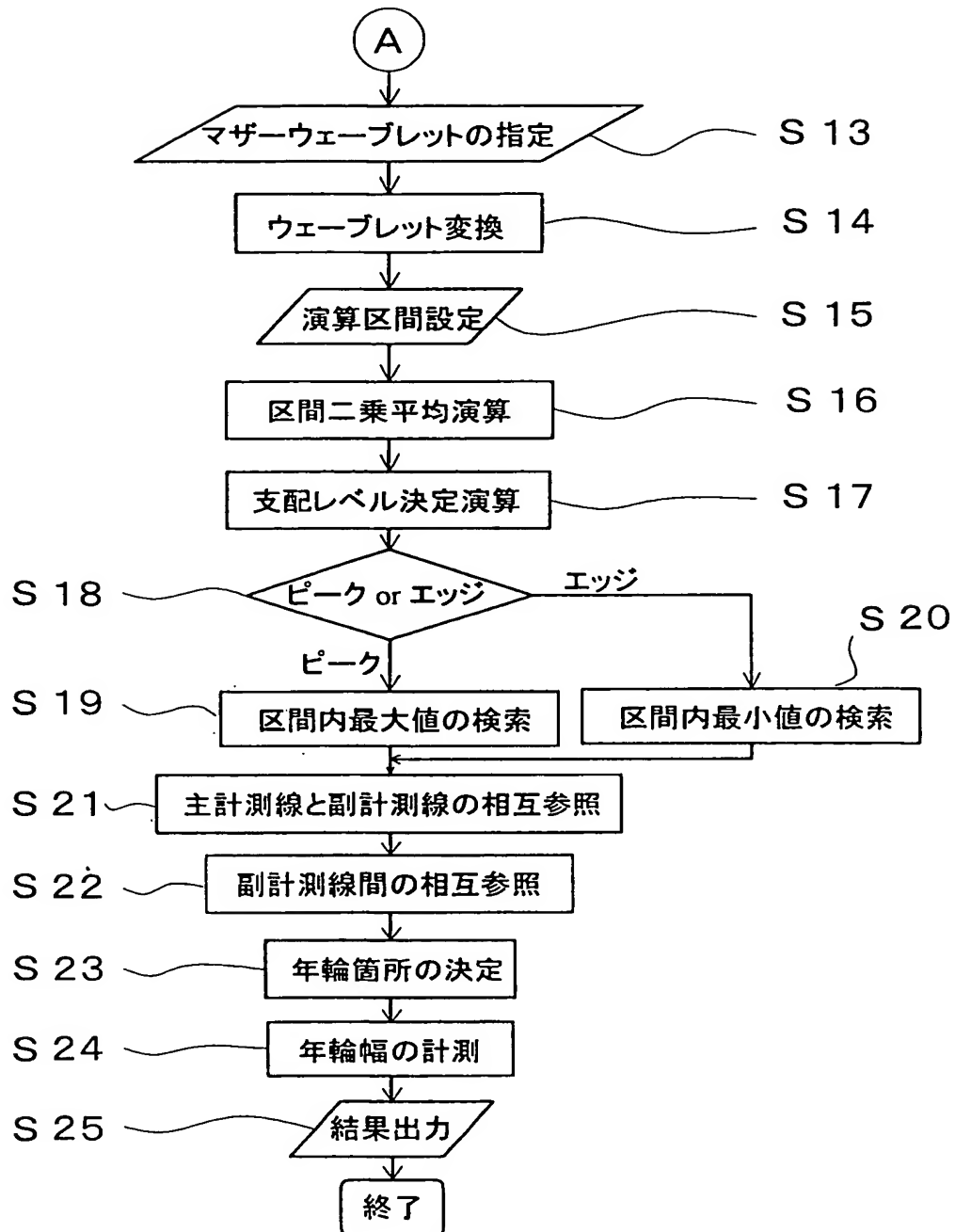


図 3

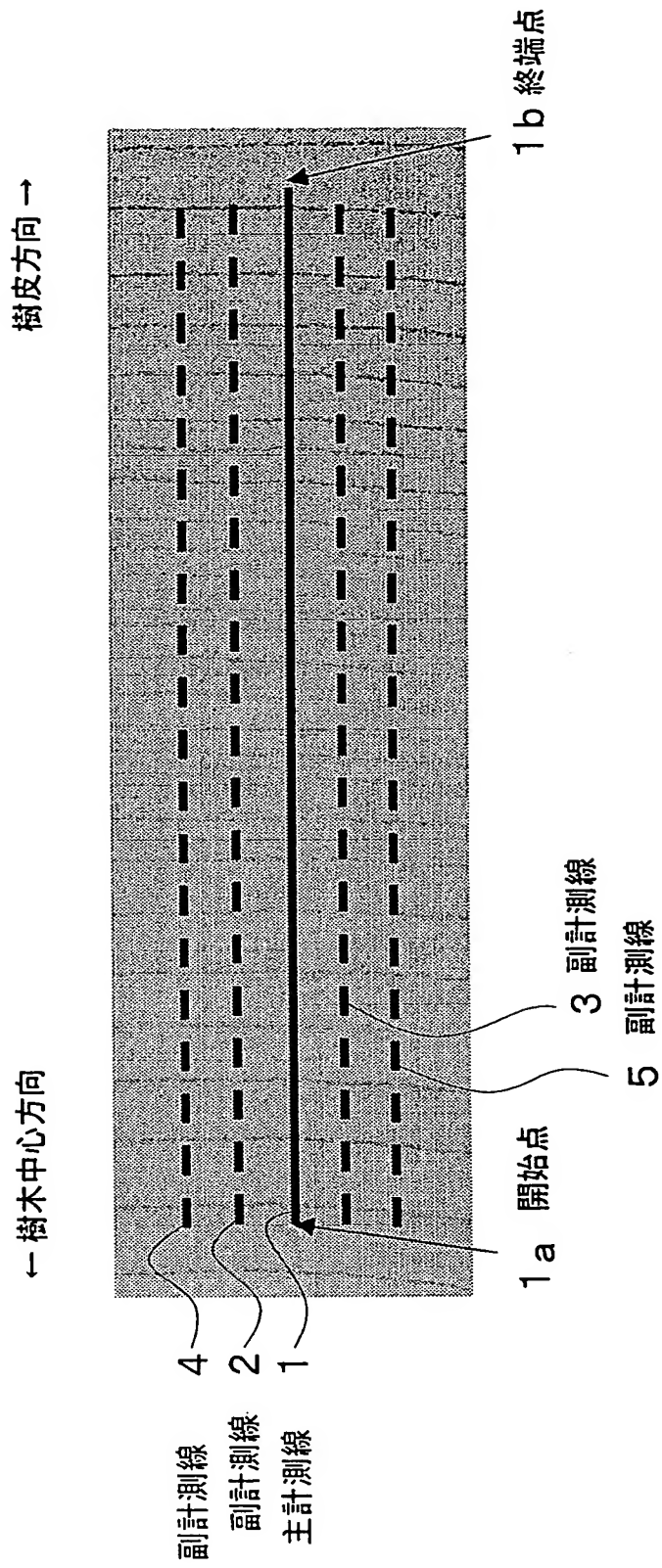


図 4 A

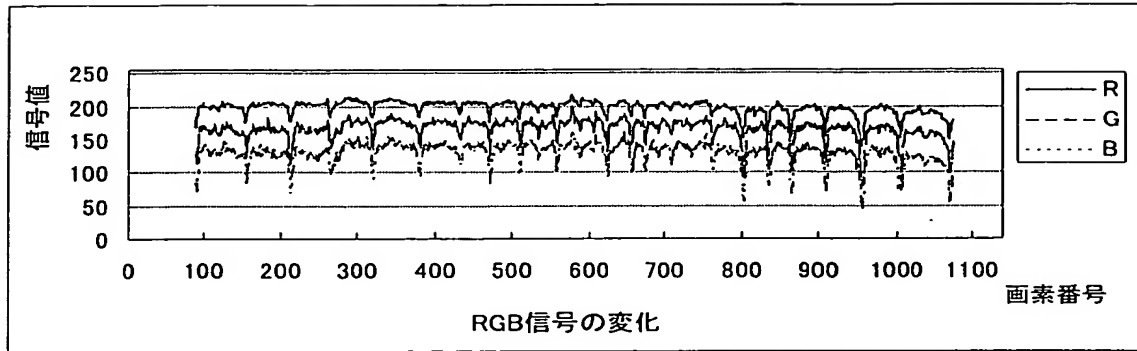


図 4 C

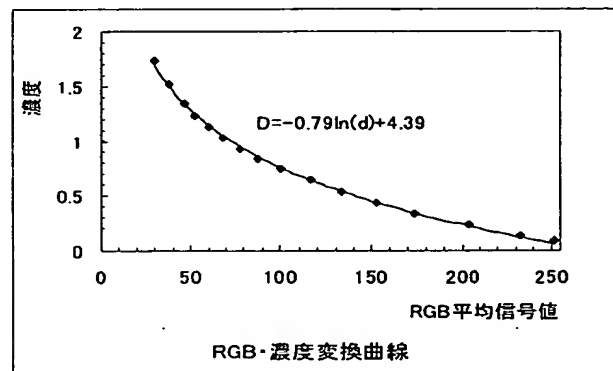


図 4 B

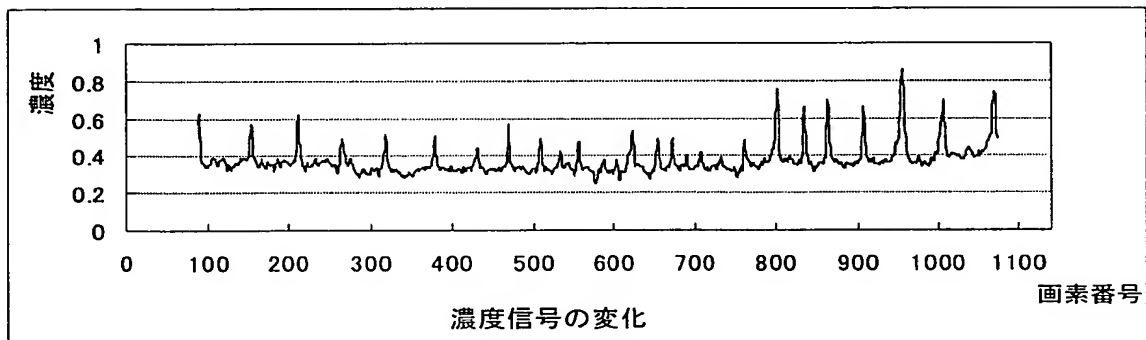


図 5 A

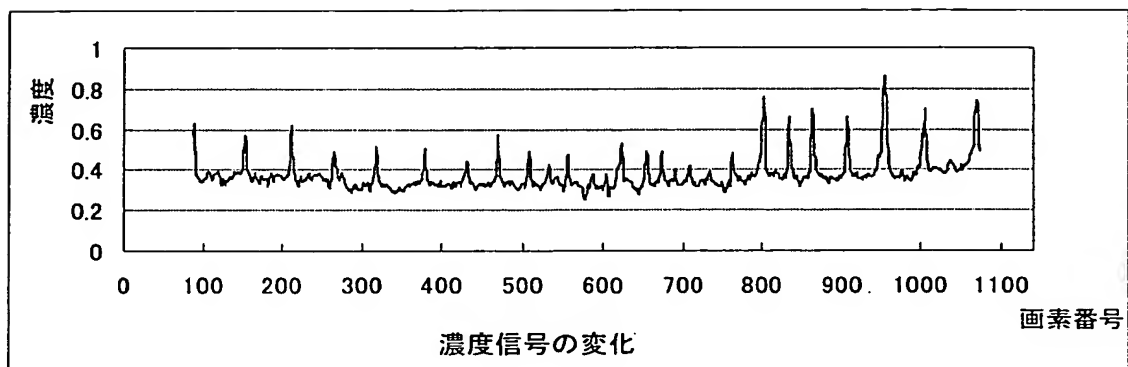
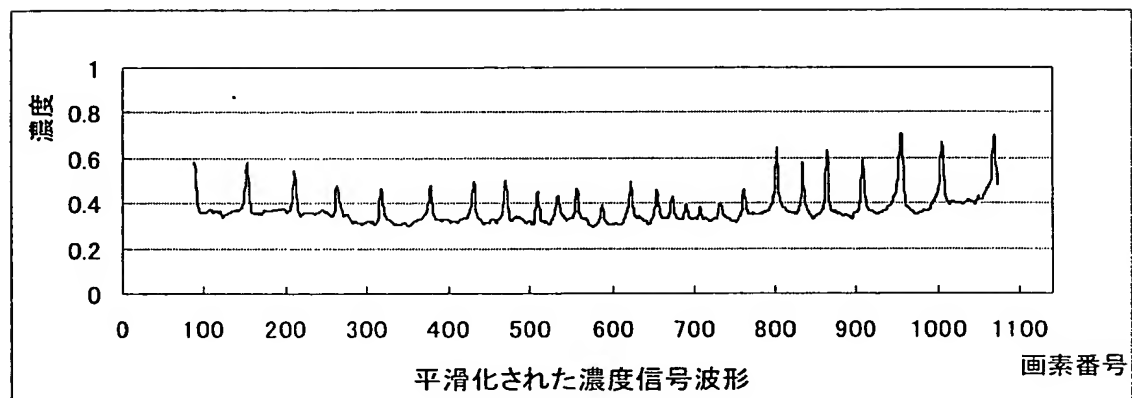


図 5 B



( 6 / 15 )

図 6 A

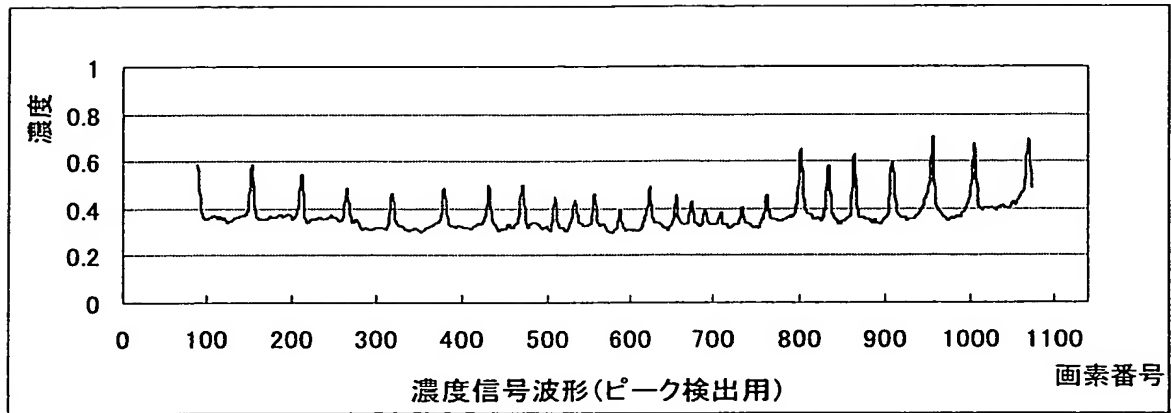


図 6 C

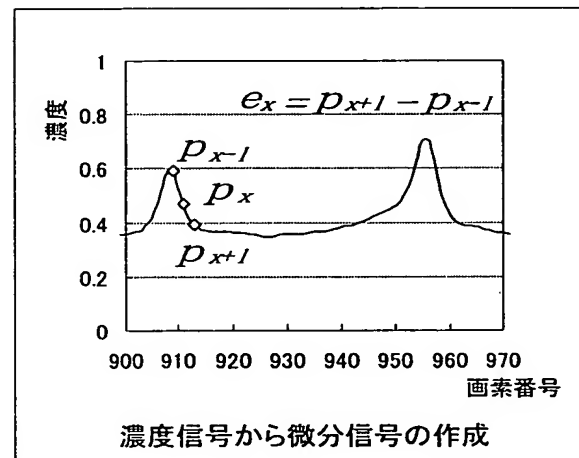


図 6 B

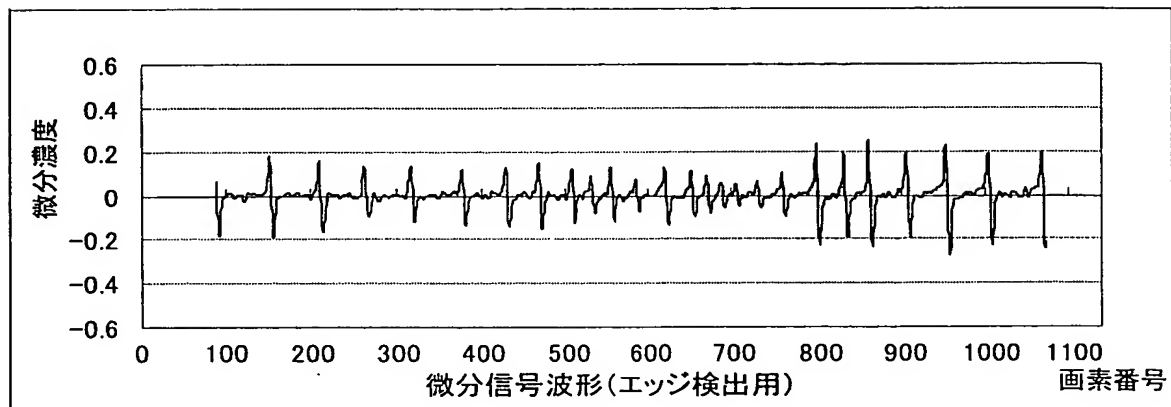
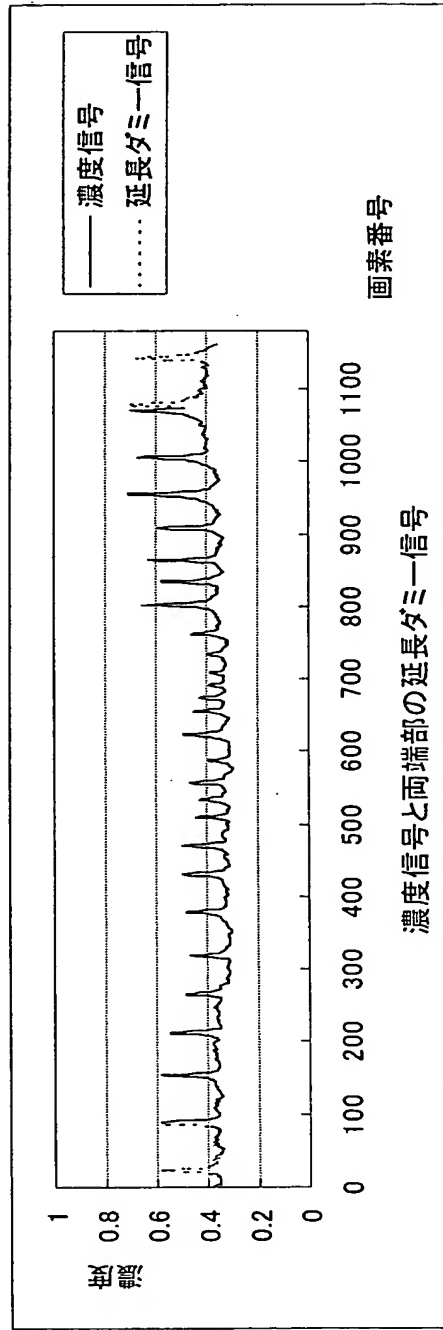


図 7



( 8 / 15 )

図 8 A

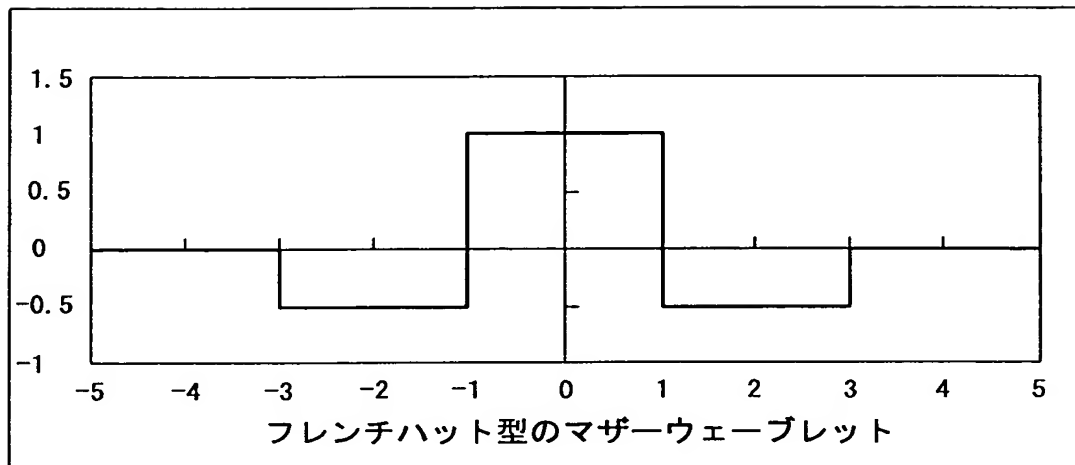


図 8 B

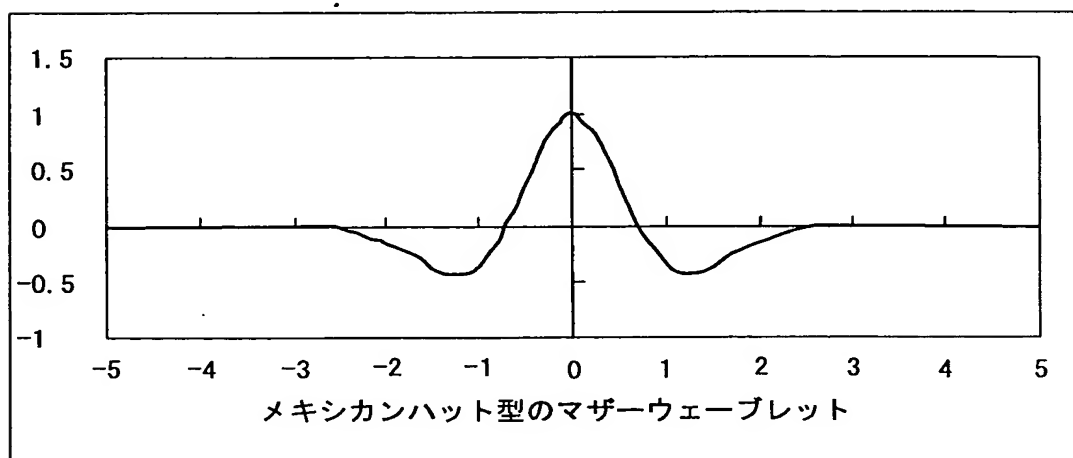
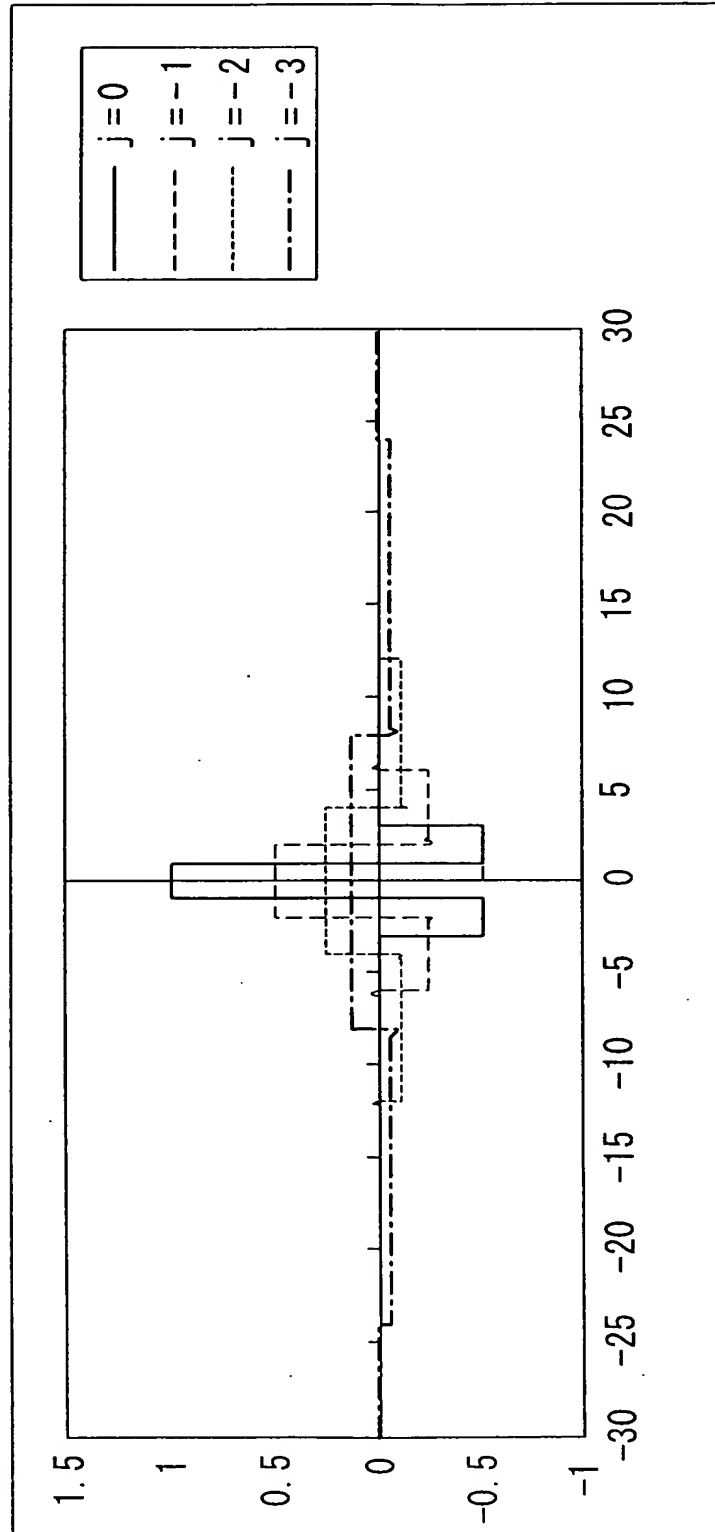


図 9





( 9 / 1 / 15 )

図 10

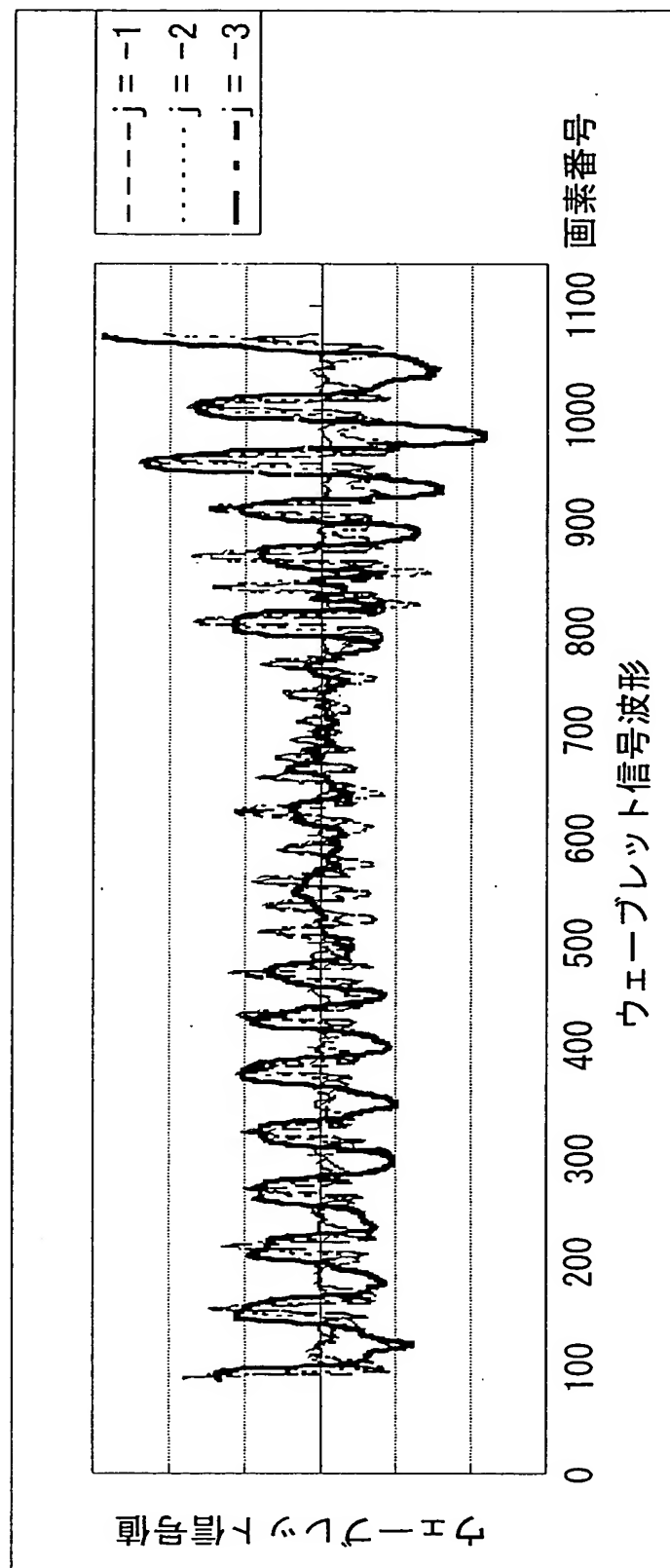


図 1 1

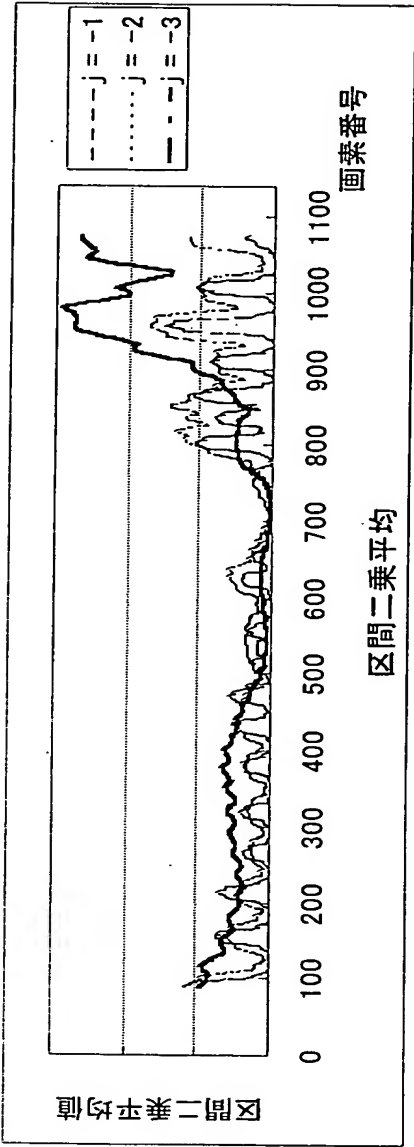


図 1 2

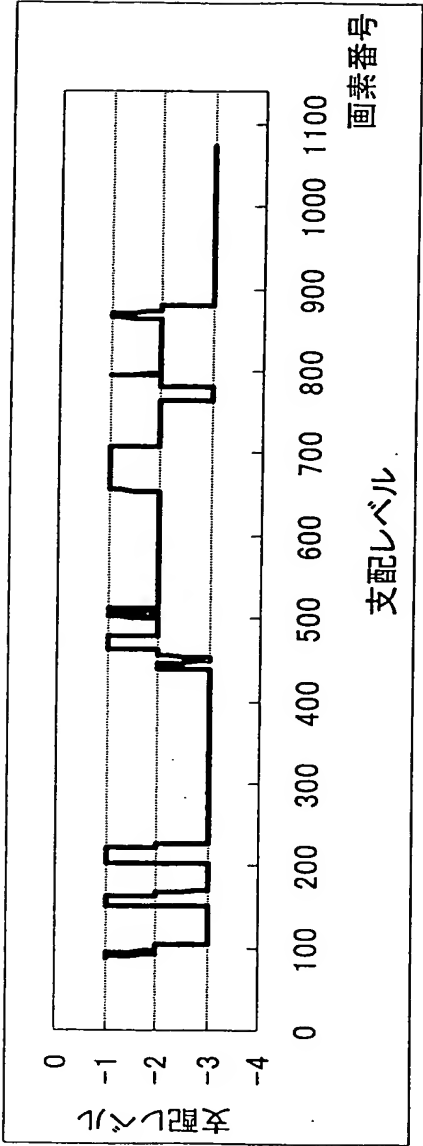


図 1 3 A

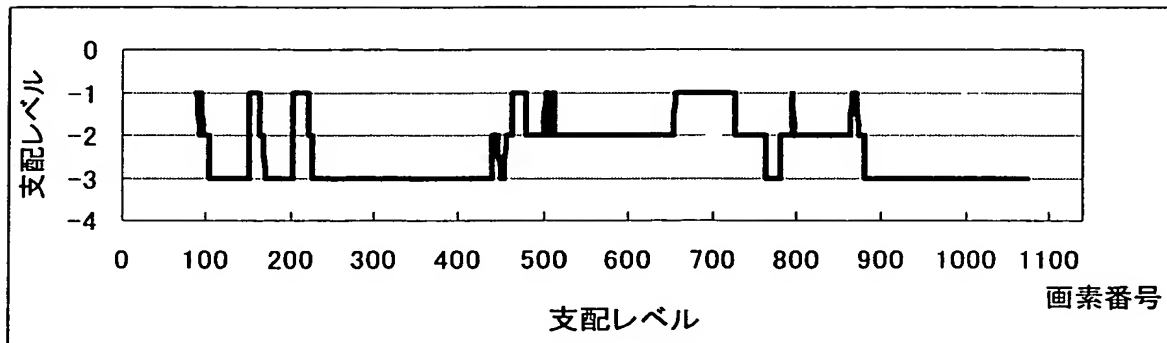


図 1 3 B

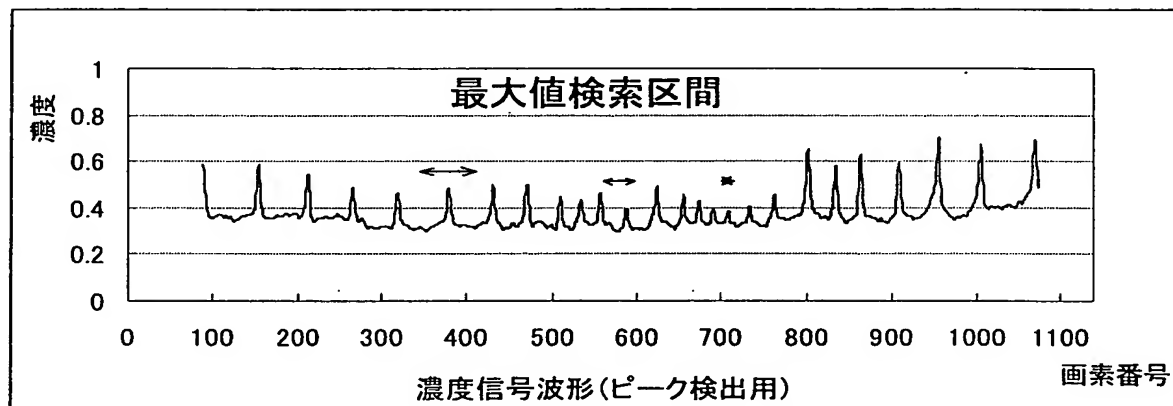


図 1 3 C

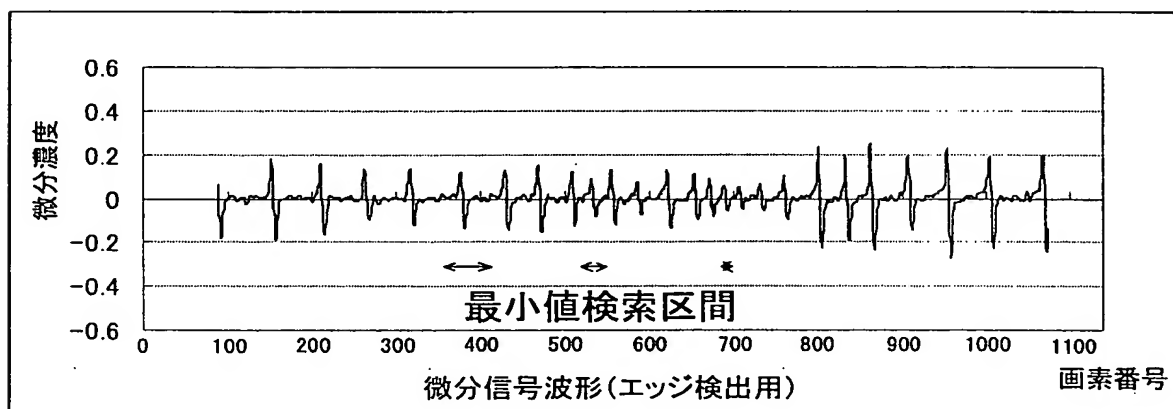


図 1 4 A

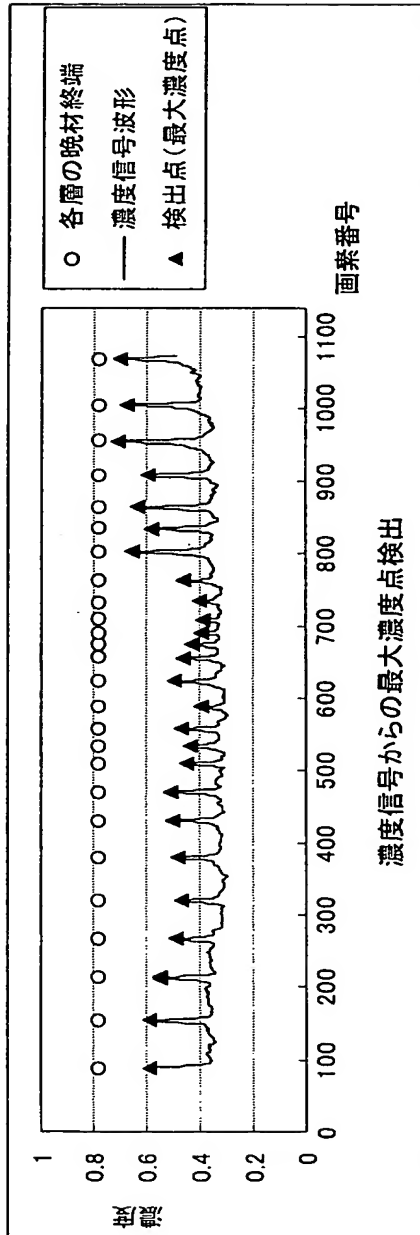


図 1 4 B

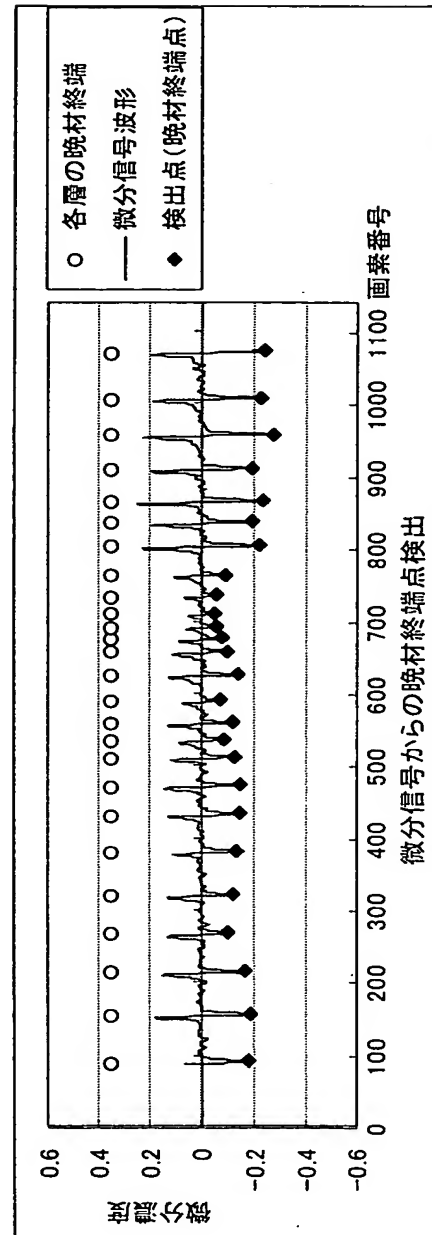


図 15

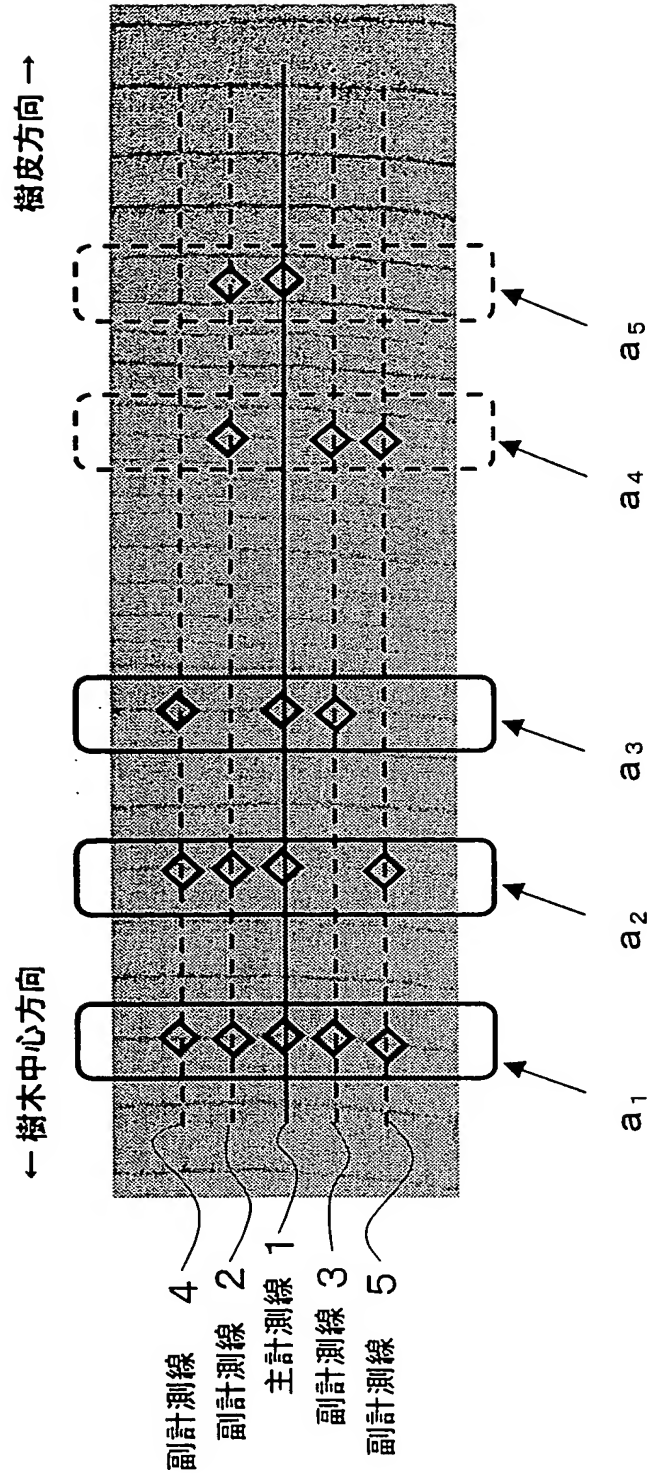


図 16

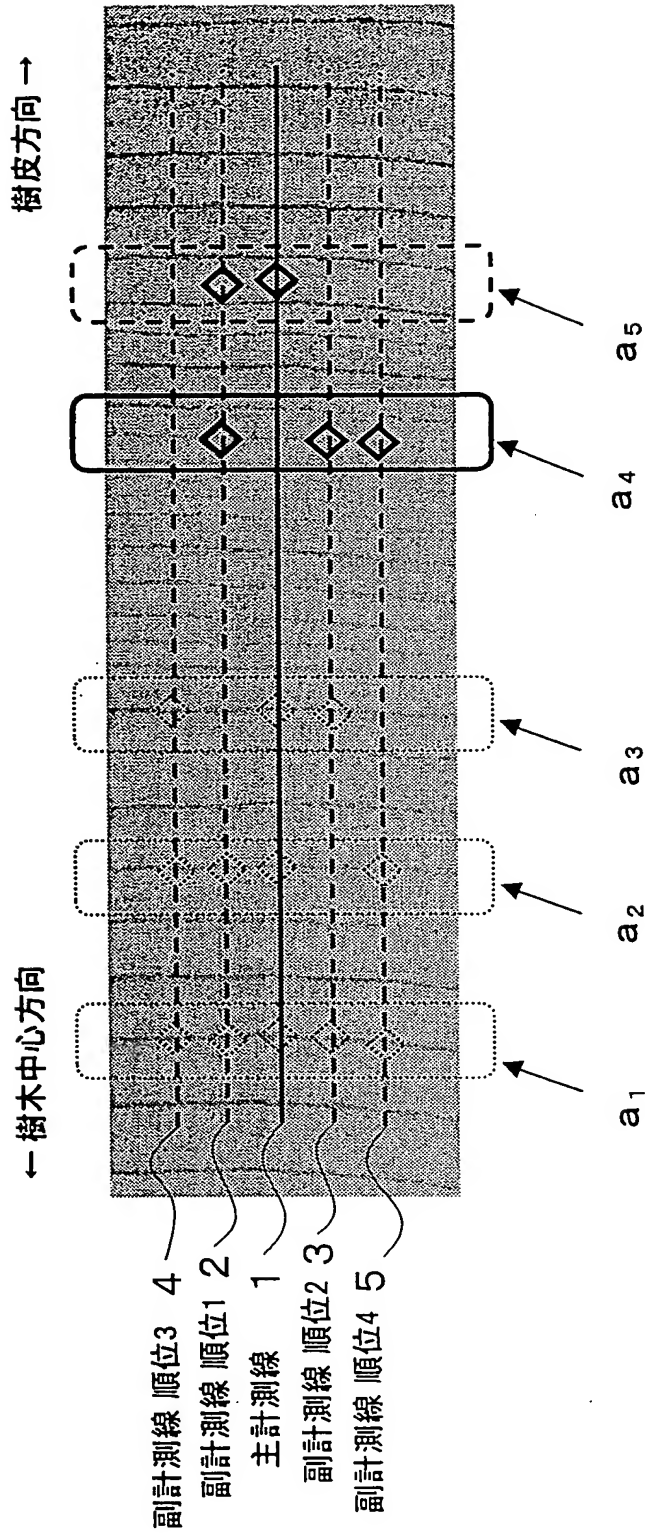
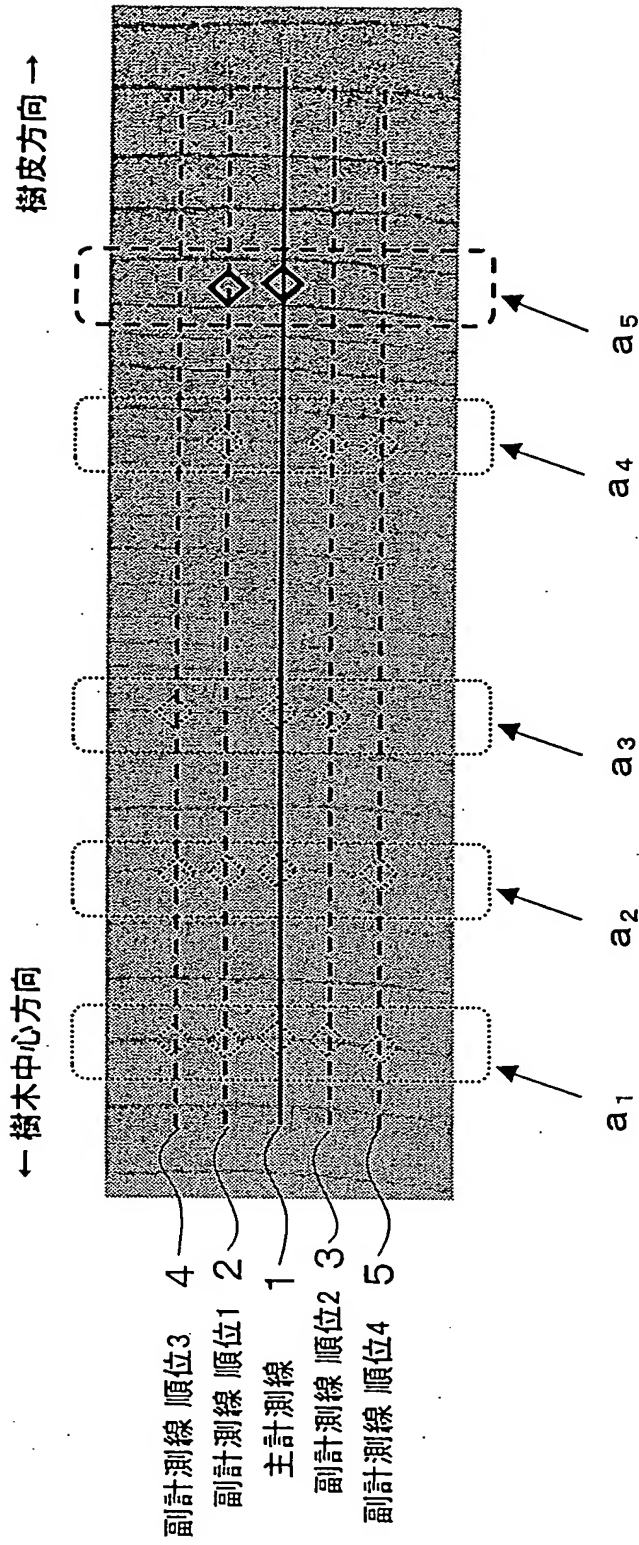


図 17



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/05944

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl.<sup>7</sup> G01B11/02, G06T7/60, G06F17/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl.<sup>7</sup> G01B11/00-11/30, G06F17/00-17/18, G06T1/00-9/40

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Takayuki OKOCHI et al., 'Application of Pattern Analysis to Dendrochronology', Program and Proceedings of ICIS'2, Tokyo: International Congress of Imaging Science 2002, Tokyo, 13 May, 2002 (13.05.02), pages 441 to 442	1-17
X	Takayuki OKOCHI et al., 'Wavelet o Mochiita Nenrin Gazo no Jido Keisoku ni Kansuru Kenkyu', 2002 Nendo 'Jumoku Nenrin' kenkyukai Yoshishu, 08 November, 2002 (08.11.02), Ippan Koen Session 1, No.2, pages 1 to 4	1-17
A	Susumu SAKAKIBARA et al., 'Wavelet Beginner's Guide', Tokyo Denki University Shuppanyoku, 20 May, 1995 (20.05.95), pages 171 to 173	1-7, 16-17

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
31 July, 2003 (31.07.03)

Date of mailing of the international search report  
19 August, 2003 (19.08.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05944

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-218747 A (Tókyo Denki University), 14 August, 2001 (14.08.01), Full text; all drawigs (Family: none)	1-7,16-17
A	JP 11-128185 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., Japan Science and Technology Corp.), 18 May, 1999 (18.05.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-7,16-17
A	JP 10-216096 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 18 August, 1998 (18.08.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-7,16-17
A	JP 8-329046 A (Toshiba Corp.), 13 December, 1996 (13.12.96), Full text; all drawings (Family: none)	1-7,16-17
A	JP 8-95955 A (Nippon Bussei Kabushiki Kaisha), 12 April, 1996 (12.04.96), Full text; all drawings (Family: none)	1-7,16-17
A	JP 2000-348178 A (Toyota Central Research And Development Laboratories, Inc.), 15 December, 2000 (15.12.00), Full text; all drawings (Family: none)	8-15
A	JP 11-232427 A (NKK Corp.), 27 August, 1999 (27.08.99), Full text; all drawings (Family: none)	8-15

PCT

## 国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)  
[PCT18条、PCT規則43、44]

REC'D 22 AUG 2003

WIPO

PCT

出願人又は代理人 の書類記号 OKC01PCT	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220)及び下記5を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JPO3/05944	国際出願日 (日.月.年) 13.05.03	優先日 (日.月.年) 13.11.02
出願人(氏名又は名称) 大河内 隆之		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 3 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

## 1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出された磁気ディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された磁気ディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列と磁気ディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、  
第 2 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01B 11/02,  
G06T 7/60,  
G06F 17/14

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01B 11/00 - 11/30,  
G06F 17/00 - 17/18,  
G06T 1/00 - 9/40

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
日本国実用新案登録公報 1996-2003年  
日本国登録実用新案公報 1994-2003年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	Takayuki OKOCHI et al, 'Application of Pattern Analysis to Dendrochronology', Program and Proceedings of ICIS' 2, Tokyo: International Congress of Imaging Science 2002, Tokyo, 2002.05.13, p.441-442	1-17
X	大河内 隆之 他, 'ウェーブレットを用いた年輪画像の自動計測に関する研究', 2002年度「樹木年輪」研究会要旨集, 2002.11.08, 一般講演・セッション1, No.2, p.1-4	1-17

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31.07.03

国際調査報告の発送日

9.08.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

福田 裕司

2S

3004

電話番号 03-3581-1101 内線 3256

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	榊原進, 'ウェーブレットビギナーズガイド', 東京電機大学出版局, 1995. 05. 20, p. 171-173	1-7, 16-17
A	J P 2001-218747 A (学校法人東京電機大学) 2001. 08. 14, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7, 16-17
A	J P 11-128185 A (松下電器産業株式会社, 科学技術振興事業団) 1999. 05. 18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7, 16-17
A	J P 10-216096 A (松下電器産業株式会社) 1998. 08. 18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7, 16-17
A	J P 8-329046 A (株式会社東芝) 1996. 12. 13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7, 16-17
A	J P 8-95955 A (日本物性株式会社) 1996. 04. 12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7, 16-17
A	J P 2000-348178 A (株式会社豊田中央研究所) 2000. 12. 15, 全文, 全図 (ファミリーなし)	8-15
A	J P 11-232427 A (日本鋼管株式会社) 1999. 08. 27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	8-15